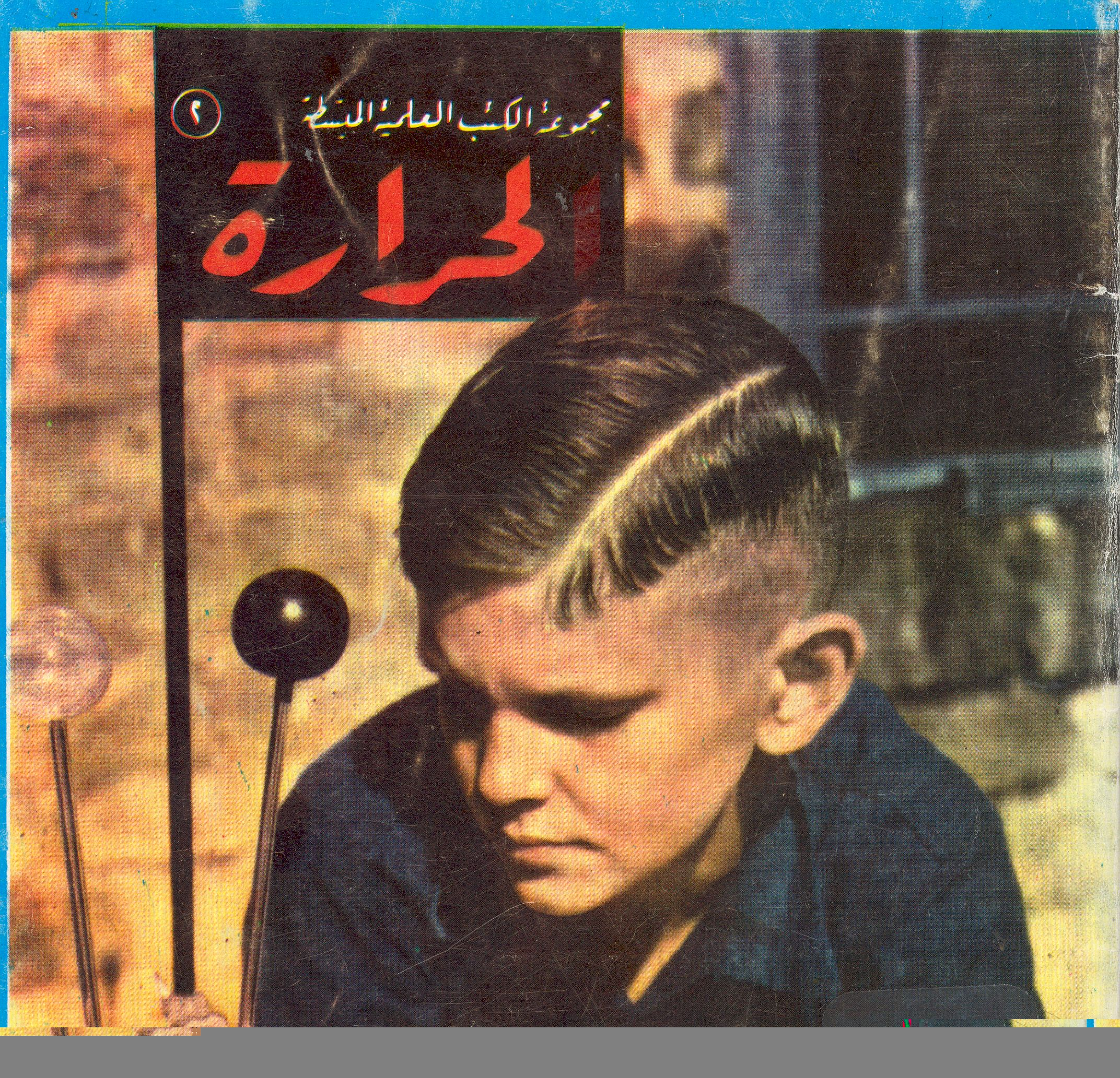


مجموعة الكتب العلمية المبسطة
٢
الحرارة



ماء ساخن
ماء بارد
دخان
ماء ساخن

مجموعة الكتب العلمية المبسطة

٢

# الحرارة

تأليف

برتا موريس باركر
جامعة شيكاجو

قام بالمراجعة العلمية

كليفورد هولى
مدرس العلوم الطبيعية بجامعة شيكاجو سابقًا

ترجمة

عبد الفتاح المنياوى

الطبعة السادسة

الناشر

دار المعارف

بالاشتراك مع الجمعية المصرية لنشر المعرفة والثقافة العالمية

قدم الأستاذ الدكتور أحمد زكى مدير جامعة
القاهرة لهذه السلسلة القيمة فى أول كتبها
«حيوانات نعرفها» الذى ترجمه هدية منه فقال :

الأمّةُ برجالها ، وَرجالها من صغارها ، لهٰذا سَألتُ
أَن يكونَ لى شرفُ الشّركة فى تثقيف هٰؤلاء الصّغار ،
فأُجِبْتُ إلى سُؤْلى ، فكان لِى من ترجمةِ هٰذا الكتابِ أوّل كتب
هٰذه السّلسلة القيّمة متعة قلَّ أن تُعادِلَها متعَة .

أحمد زكى
مدير جامعة القاهرة ( سابقاً )

## « الحرارة »

بأية وسيلة يؤدى البيت الزجاجي الدافئ الذى تربى فيه النباتات عمله ؟ ولماذا يتحتم علينا أن نترك مسافات بين أجزاء الصلب ليتمدد عند إنشاء كوبرى ؟ وكيف يستخدم التيار الكهربائى لتجميد الماء ؟ ولماذا تغلف معظم الأنابيب فى الأفران بالاسبستوس « أى الحرير الصخرى » ؟ وكيف يتيسر لزجاجة الترموس نفسها أن تحتفظ بحرارة القهوة وبرودة الليمونادة ؟ لكى تجيب على مثل هذه الأسئلة ، ينبغى أن تعرف شيئاً عن الحرارة وطرق انتقالها .

وتلعب الحرارة فى حياتنا دوراً فى غاية الأهمية . فهى لا تقل شأناً عن الهواء أو الغذاء أو الماء . ونحن لا نستطيع أن نعيش إذا نقصت الحرارة نقصاً شديداً ، كما أن الحرارة الشديدة تقتلنا .

ربما تعلم أن ثمانية كواكب تدور حول الشمس . وهذه الكواكب تشبه الأرض إلى حد كبير . وربما سألت هل هذه الكواكب مسكونة أم لا ؟ إن هذه الكواكب بعيدة عنا بعداً لا يمكننا من استقصاء أخبارها بمجرد النظر إليها . ولكنا نستطيع أن نقول واثقين إن الجنس البشرى الذى نحن منه لا يمكنه أن يعيش فى معظم هذه الكواكب . ذلك لأنها إما حارة لدرجة شديدة ، وإما تنقصها الحرارة نقصاً كبيراً . فمثلا فى عطارد وهو أقرب الكواكب إلى الشمس ، إذا عرّضت قطعة من الرصاص فيه إلى أشعة الشمس ، فإنها تنصهر وتذوب . و( پلوتو ) أبعد الكواكب التى نعرفها ، بارد بدرجة يجمد فيها الماء والهواء ، إن كان هناك ماء أو هواء .

وسبب برودة بعض الكواكب وعدم ملاءمتها للأحياء هو ما يصلها من قدر ضئيل من الحرارة ، لا قدر كبير من البرودة ، فالبرودة أو البرد لا ينتقل . والبرودة هى غياب الحرارة ، كما أن الظلمة هى غيبة الضوء . ونحن حين نحجب الضوء عن حجرة ، لا نضع فيها ظلاما ولكنا نبعد عنها الضوء .

وقياساً على ذلك ، نحن لا نضع برودة فى الشيء الذى نريد تبريده بل نبعد عنه الحرارة .

ولم نر أو نحس إطلاقاً حتى اليوم ، أن جسما من الأجسام قد سلبت منه حرارته كلية . ولقد بذل العلماء سنين طويلة كيما يسلبوا جسماً حرارته ، حتى يصبح بارداً تماماً ، ولكنهم لم ينجحوا فى هذا حتى الآن . فهناك بعض الحرارة حتى فى أبرد الأشياء التى تراها أو تلمسها .

## « الحرارة » مظهر من مظاهر الطاقة

تتوقف حياة الكائن الحي على الهواء والماء والغذاء والحرارة . فى هذه الأربعة ثلاث مواد هى الهواء والغذاء والماء . أما الحرارة فليست مادة أو عنصراً بل هى مظهر من مظاهر الطاقة .

ولقد ظن الناس يوماً أن الحرارة مادة . ظنوا أنها سائل لا يرى ؛ ولكنه يستطيع أن ينساب فى مواد أخرى ويخرج منها . وكانوا يسمونه « الأصل الحرارى »، غير أن الفكرة بأن الحرارة سائل، قد عدل عنها من مائة عام .

ولكل مادة حيز ، كما أن لكل مادة وزناً أيضاً ؛ والحرارة ليست مادة، لأنها لا تشغل حيزاً وليس لها وزن . فلا يستطيع أحد أن يملأ قنينة بالحرارة أو يزيد من الحرارة رطلا .

ولكن ما هو المعنى الذى نرمى إليه حين نقول إن الحرارة مظهر من مظاهر الطاقة ؟

معنى هذا ببساطة ، أن الحرارة يمكن استخدامها لتؤدى عملا . وأنت حين تشاهد قاطرة بخارية ضخمة تجر وراءها قطاراً طويلا بعرباته المثقلة ، تقدّر أن الحرارة تستطيع أن تؤدى عملا ، ذلك لأن الحرارة التى يولدها الوقود المشتعل ، هى التى تسير هذه الآلة البخارية .

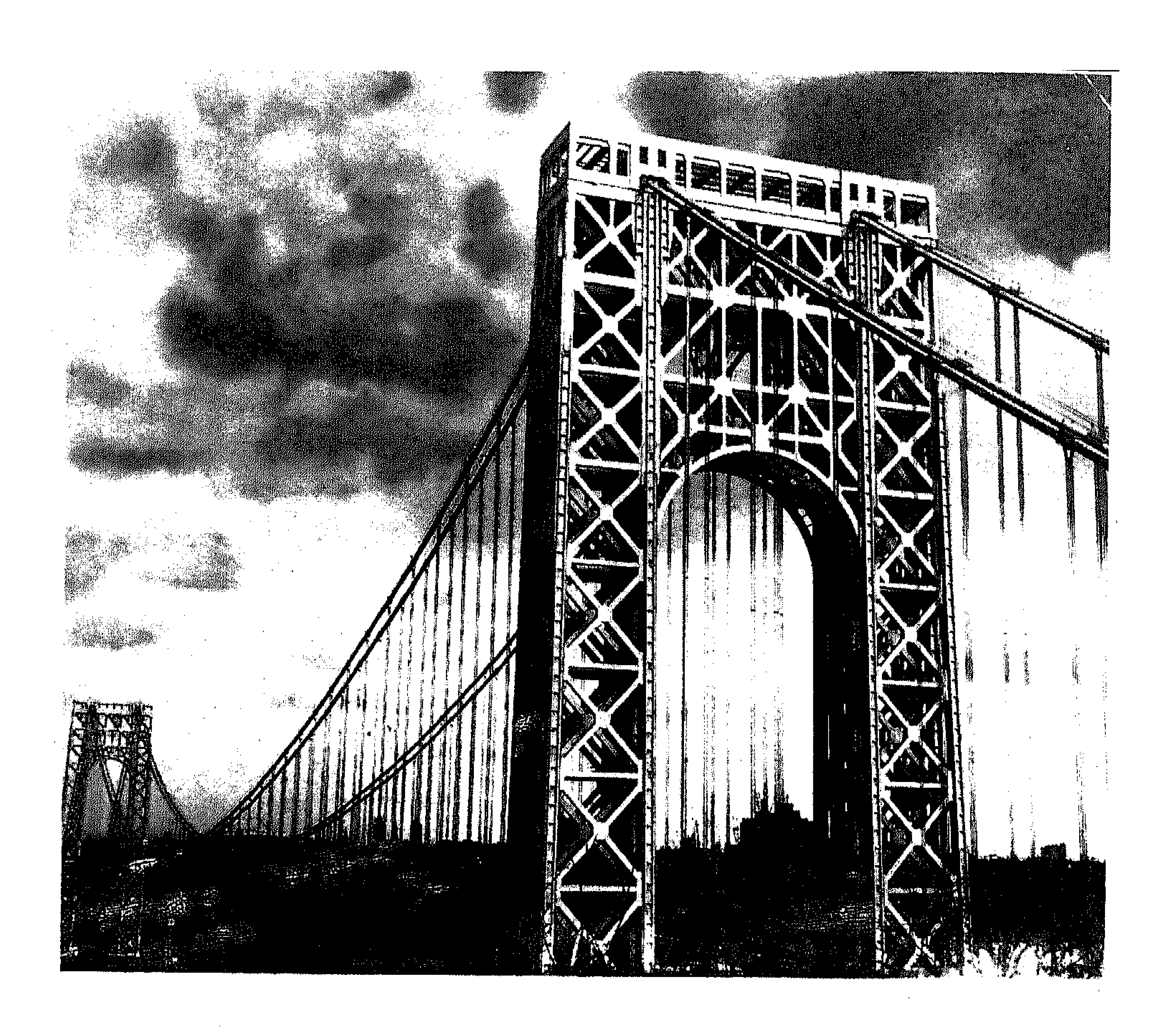
والحرارة ليست إلا نوعاً واحداً من أنواع الطاقة المتعددة الأنواع . فمن بين هذه الأنواع الأخرى ، الطاقة الكهربائية ، والضوء ، والطاقة الكيماوية وهى الطاقة التى تختزنها أشياء أخرى كالوقود والطعام ، والطاقة الميكانيكية وهى الطاقة التى تحتويها الأجسام ، لأنها تتحرك أو لأنها فى أوضاع معينة .

هذا، ويمكن أن تتحول مظاهر الطاقة الأخرى إلى حرارة . ويوحى إلينا الرسم الذى فى أسفل هذه الصفحة بطريقة من الطرق التى نحصل بها على الحرارة . فنحن نحصل على أكبر قدر من الحرارة التى نحتاج إليها عن طريق إشعال الوقود . فعندما نحرق الوقود، تتحول بعض الطاقة الكيماوية المتخزنة فى هذا الوقود إلى حرارة . وفى المواقد الكهربائية، تتحول الطاقة الكهربائية إلى حرارة . وحين نشعل عوداً من الثقاب ، فنحن نستخدم الاحتكاك لنحصل على الحرارة . وينشأ الاحتكاك إذا حككنا سطحين أحدهما فى الآخر ، ويتحول جزء من الطاقة الميكانيكية التى فى السطحين المتحركين إلى حرارة .

وعلى أية حال، فإن أهم مصادر الحرارة لدينا هو الشمس، فلو أنها محيت، لعجزت كل المصادر الأخرى للحرارة عن أن تمد الأرض بالحرارة التى يتطلبها استمرار الحياة







على سطحها . ويتفق العلماء على أن الشمس ظلت تشع مقادير هائلة من الحرارة منذ مئات الملايين من السنين ، وأنها سوف تستمر فى هذه العملية مئات الملايين من السنين فى المستقبل. وهم يعتقدون بأن الطاقة الذرية هى التى تجعل الشمس تشع هذه المقادير الهائلة من الحرارة باستمرار .

## آثار ثلاثة « للحرارة »

إن تسخين المواد يحدث فى هذه المواد تغيرات عديدة مختلفة . ومن هذه ثلاثة تغيرات شائعة ، نرى لها أمثلة فى حياتنا كل يوم . أولها نوع نأخذه قضية مسلمة ، هو رفع حرارة الجسم الذى نسخنه . فنحن نتوقع مثلا أن قطعة الحديد التى تتعرض للهب تسخن .

والنوع الثانى لهذه التغيرات هو التمدد . ومعنى التمدد زيادة الحجم أو شغل حيز أكبر من الفراغ . فالجسر أو الكوبرى فى الصورة المنشورة على هذه الصفحة ، لا شك يزيد طوله بضع سنتيمترات فى يوم صيف حار ، عن طوله فى يوم شتاء بارد ، مالم تكن هناك مسافات بين الأجزاء المنفصلة من الصلب تسمح بهذا التمدد .

والتغير الثالث هو تحول الجسم الصلب إلى سائل أو غاز ، أو تحول السائل إلى

غاز . فمثلا يتحول الشمع الجامد فى طرف الشمعة الأعلى إلى سائل حين يسخن باللهب ، أى إنه يذوب . كما أن بعض الشمع السائل يرتفع فى فتيلة الشمعة ، وبذلك يتحول إلى غاز فى وسط اللهب ، وتسمى مثل هذه التغيرات فى المادة « تغيرات فى الحالة » .

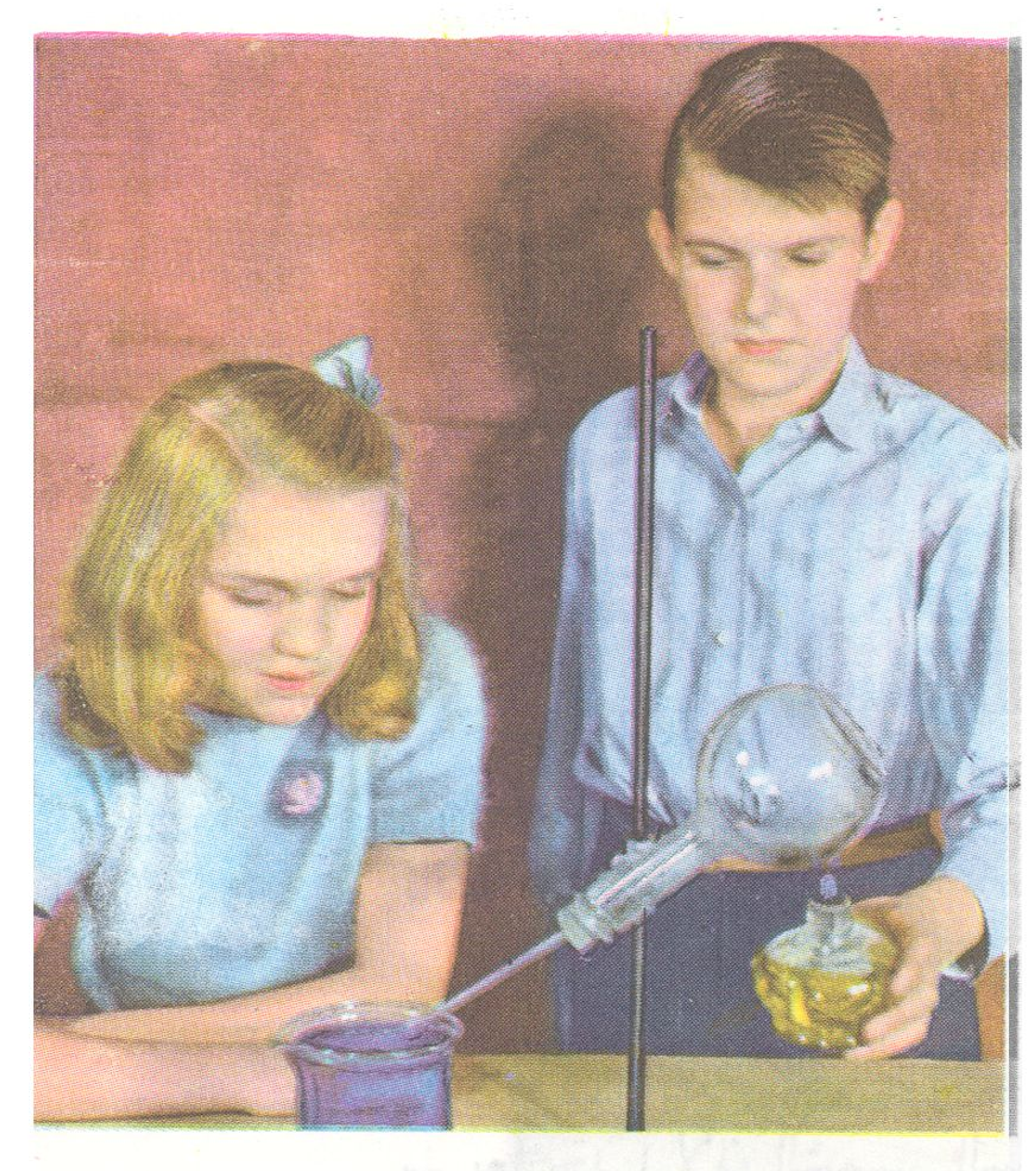
ونستطيع أن نفهم تأثير الحرارة فى الأجسام بشيء من اليسر ، إذا عرفنا ما يعتقده العلماء عن تركيب المادة .

إنهم يعتقدون أن كل مادة مكونة من جسيمات صغيرة جداً تعرف بالجزيئات ، حتى لو كانت هذه المادة صلبة غاية فى الصلابة . وهذه الجزيئات صغيرة متناهية فى الصغر بدرجة لا يصدقها العقل . ويصغر حجمها إلى درجة تتعذر معها رؤية بعض هذه الجزيئات المنفصلة ، وحتى لو أننا استخدمنا مجهراً حديثاً قوياً جداً ، إلا فى بعض الحالات الاستثنائية الخاصة . ويتكون الهواء الذى يملأ حجم كستبان من ٢٧ بليون بليون من جزيئات الهواء . وجزيئات كل مادة تتجاذب بعضها إلى بعض . وهذا التجاذب يبلغ أشده بين الأجسام الصلبة ، وأقله بين الغازات . ولعلك تتوقع أن تتقارب الجزيئات بشدة فى الأجسام الصلبة أكثر من السوائل ، وفى السوائل أكثر من الغازات . وهذا صحيح . وتساعدك الرسوم الموضحة على هذه الصفحة على تذكر هذه الحقيقة . ومثل هذه الرسوم بطبيعة الحال ، ينبغى أن يكون مبالغاً فيها ، فإن مثل هذه الأجزاء الذرية لا يمكن أن ترسم بحجمها الطبيعى وأبعادها .

وهذه الجزيئات دائبة الحركة . وفى الأجسام الصلبة ، تكون حركتها غالباً عبارة عن ذبذبات إلى الأمام وإلى الخلف ، أى أنها لا تتحرك بعيداً . أما فى السوائل ، فإنها تتحرك أسرع من ذلك وأكثر انطلاقاً من حركتها فى الأجسام الصلبة. أما حركتها فى الغازات ، فتمتاز بسرعة أكبر ، وحرية أعظم ، من حركتها فى السوائل .

والآن لندرس علاقة هذه الجزيئات بالحرارة والأثر الذى تحدثه . فعندما يسخن جسم ، تبدأ جزيئاته التى يتركب منها فى التحرك بسرعة ، فالجزيئات فى قضيب حديد ساخن تتحرك أسرع مما تتحرك فى قضيب من الحديد البارد . وعندما تزداد حركة هذه الجزيئات تتباعد بعضها عن بعض . وهذا الانتشار وذاك التباعد لجزيئات المادة يجعلها تتمدد إذ تشغل حيزاً أكبر من الفراغ . وإذا سخن الجسم الصلب بدرجة كبيرة ، فقد تتحرك جزيئاته حركة سريعة وتتباعد ، بحيث يتحول الجسم الصلب إلى سائل ، أو ربما إلى غاز . فهو يذوب فى الحالة الأولى









ويتبخر فى الحالة الثانية . وإذا أنت سخّنت سائلا ، فإن جزيئاته قد تتحرك بسرعة ، كما تتباعد بشكل يجعل السائل يتبخر أو يتحول إلى غاز .

وإنك لتتوقع طبعاً أن ينتج عن تجريد الأجسام من الحرارة تغيرات مضادة لتلك الأنواع الثلاثة من التغيرات وهى التى سمعت بها توّاً. وهذا يحدث ، فانخفاض درجات الحرارة هو إحدى النتائج العامة لتخليص الجسم من حرارته ، والتقلص أو الانكماش فى حيز أقل هو النتيجة الثانية ؛ أما النتيجة الثالثة فهى تحول الغاز إلى سائل أو إلى جسم صلب ، أو تحول السائل إلى جسم صلب .

ما معنى هذه التغيرات الثلاثة بلغة الجزيئات هذه ؟ إذا سلب جسم حرارته ، تحركت الجزيئات حركة أبطأ من حركتها العادية . وإذا قدر لك أن تسلب الجسم كل حرارته ، واستطعت أن تجعله بارداً غاية البرودة ، فإن هذه الجزيئات لا تتحرك على الإطلاق . وعندما تبطؤ حركة الجزيئات ، ترى هذه الجزيئات وقد تقاربت وتماسكت ، ذلك أن كل جزىء ينجذب إلى الجزيئات الأخرى ، وأن الجسم نفسه ينكمش ليشغل حيزاً أقل . وإذا أستمر سائل ينكمش ، أضحت جزيئاته فى النهاية متقاربة إلى درجة أن يتحول هذا السائل إلى جسم صلب . إنه يتجمد أو يتصلب . وبنفس الطريقة يمكن أن يتحول الغاز إلى سائل أو إلى جسم صلب ، ونقول إنه يتكثف .

لنبحث فى ظاهرة واحدة من الظواهر التى تطرأ على الأجسام بتأثير الحرارة ، وهى التمدد . والقاعدة العامة هى أن الغازات والسوائل والأجسام الصلبة كلها تتمدد إذا سخنت بالحرارة ، ولكنها لا تتمدد جميعاً بدرجة واحدة . إن الفتى والفتاة فى الصورة العليا من هذه الصفحة يبحثان كيف يتمدد الهوء بسرعة ، فعندما يسخن الفتى هذه القنينة المملوءة

بالهواء ، تتجه فقاقيع الهواء فى نهاية الأنبوبة صوب القنينة . وتتمدد الغازات جميعها أسرع بكثير من تمدد السوائل أو الأجسام الصلبة .

وقد استخدم تمدد الهواء بالحرارة فى رفع أول بالونات رفعت إلى السماء . فقد ملئت أكياس البالونات بالهواء ثم أشعلت تحتها النيران ، فتمدد الهواء فى هذه البالونات وأصبحت أخف ، فارتفعت فوق سطح الأرض . ولا شك أن هذه البالونات قد نزلت إلى الأرض ثانية عند ما برد الهواء .

وتملأ معظم البالونات الآن بأخف الغازات وزناً وهو الهليوم ، وقد وجد المكتشفان اللذان سجلا الرقم القياسى فى الارتفاع فى طبقات الجو العليا ، أن هذا البالون قد ارتفع سريعاً جداً لأن الشمس الساطعة سببت تمدد غاز الهليوم الخفيف فزاد خفة . أما عندما كانت الشمس تغرب ، فقد كان عليهما أن يعرقلا سرعة نزول البالون ولو بإلقاء ما لديهم من آلات .

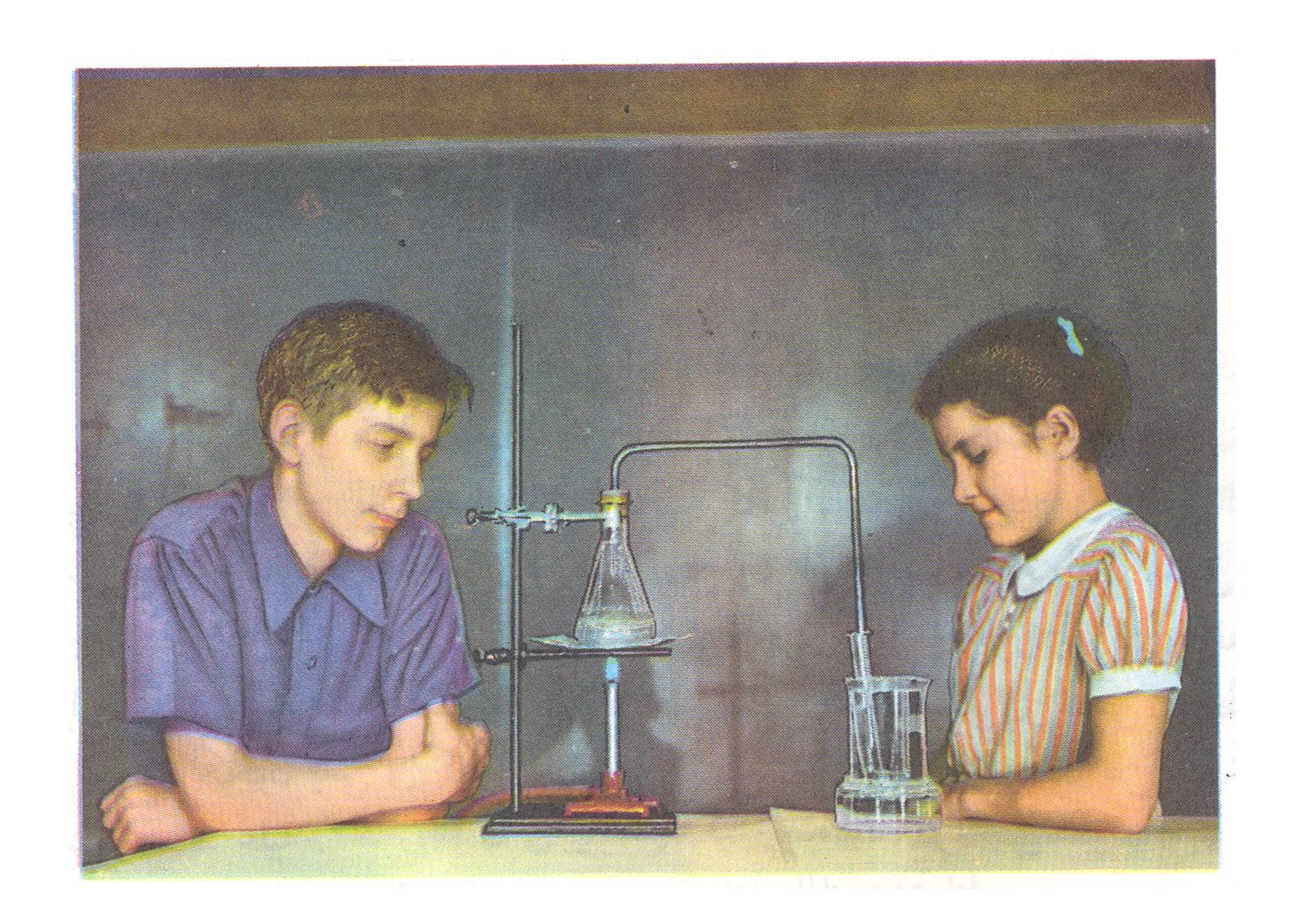
وعلى البنائين أن يحسبوا حساباً للحرارة وما تسببه من تمدد فى الأجسام . فكم من جسر تحطم ، وكم من طريق أو قضيب من قضبان سكك الحديد قد انهار وتهدم لأن البنائين لم يتركوا فراغاً كافياً يتمدد فيه الصلب وغيره من الأجسام .

ويريك الرسم الكروكى فى أسفل الصفحة طريقة اخترعت لتسهل للناس الاستفادة بما يعرفونه عن التمدد . فالحداد يسخن إطاراً من المعدن ليركب على عجلة لعربة من عربات المزارع . ولقد كانت هذه الحلقة قبل تسخينها صغيرة لا يناسب قطرها قطر هذه العجلة . ومهمة الحداد هى أن تتمدد هذه الحلقة لتكبر حتى تناسب قطر هذه العجلة . وبعد أن يضع الحداد هذا الإطار الحديدى حولها ، يضع العجلة والإطار معاً فى الماء البارد الذى يسبب تقلص الإطار فيصبح محكماً حول العجلة .

وهناك صورتان من الصور المنشورة على صفحة ٧ توضحان أن المعادن لا تتمدد كلها بدرجة واحدة ، ففى الصورة الوسطى ، ترى الفتاة وهى على وشك أن تسخن قضيباً مستقيما مكونا من قطعتين من المعدن ربطتا بإحكام إحداهما إلى الأخرى ، وإحدى القطعتين من النحاس والأخرى من الحديد . أما الصورة المنشورة فى أسفل تلك الصفحة ، فإنها توضح القضيب بعد تسخينه لقد كان تمدد النحاس أطول من تمدد الحديد . ولما كان النحاس مثبتاً فى الحديد بإحكام كما أسلفنا ، فإنه لم يستطع أن يطول وحده تاركاً قطعة الحديد . ولم يكن أمامه من سبيل إلى زيادة طوله عن الحديد إلا أن يتقوس .

والترموستات ينتفع من تمدد المعادن حين يكون هذا التمدد غير متكافىء فيها . ولقد





تعلم أن هذه الترموستات اختراع من شأنه تنظيم درجة حرارة مكان ما . والرسم الثانى فى صفحة ١١ يريك أجزاء هذا الترموستات . والمطلوب إليك أن تلاحظ قضيب المعدن المقوس . إنه مصنوع من قطعتين من المعدن ، إحداهما من حديد ، والأخرى من نحاس ، ربطتا ربطاً محكماً إحداهما إلى الأخرى . أما كيف ينظم الترموستات درجة الحرارة ، فسوف تعرف نبأه بعد حين .

أما الرسم الكروكى الآخر الذى تراه على صفحة ١١ ، فإنه يريك رقاص الساعة ؛ وهو أيضاً مصنوع من نوعين من المعدن . واختلاف التمدد فى هذين المعدنين هو الذى يحفظ هذه العجلة من تغير قطرها كلما تغيرت درجة الحرارة ، لأن تغير قطر هذه العجلة معناه أن الساعة لا تكون مضبوطة فتعطيك الزمن الخاطئ .

إن تغير حالة الأجسام ، من صلابة إلى سيولة ، أو من سائل إلى غاز ونحو ذلك ، ظاهرة من ظواهر الحرارة الشائعة . ولكن هذا التغير لا يجوز على كل الأجسام؛ فالخشب مثلا لا ينصهر ولا يتبخر .

والزجاج والثلج كلاهما ينصهران غير أن هناك فرقاً شاسعاً بين انصهار كل منهما فالثلج جسم صلب ، ويستمر كذلك حتى يصل إلى درجة حرارة معينة ،ومن ثم يتحول فجأة إلى سائل رقيق هو الماء . والزجاج من ناحية أخرى ليس له درجة أنصهار محددة ، ولكنه يلين تدريجياًبالتسخين حتى يتحول فى النهاية إلى سائل يمكن أن يصب من إناء إلى إناء ولو كان الزجاج ينصهر فجأة كما يذوب الثلج لما استطعنا أن ننفخ منه قنّينة أو نصنع منه آنية الزينة .

ينصهر الأجسام الصلبة فى درجات حرارة متفاوتة . فالذهب مثلا يجب أن يسخن

إلى درجة حرارة عالية قبل أن ينصهر أما الشمع فإن أنصهاره أسهل من ذلك بكثير .

ويحدث التبخر من سطح السائل فى كل درجة من درجات الحرارة . والتسخين يزيد سرعة التبخر . فإذا سخن سائل تسخيناً كافياً ، تكوّن البخار فى باطن السائل ، وليس فقط عند سطحه . ومن ثم نقول نحن إن السائل يغلى . وتتطلب بعض السوائل درجة حرارة عالية حتى تغلى ؛ بينما تغلى سوائل أخرى فى درجة حرارة أقل . وتتوقف درجة حرارة غليان السائل على الضغط الواقع على سطح هذا السائل . فنحن نستطيع مثلا أن نجعل الكحول يغلى فى درجة حرارة الغرفة التى نحن فيها إذا أبعدنا عن سطحه الهواء الذى يضغط عليه .

ولن نجد الظواهر التى تكلمنا فيها عن الحرارة والبرودة واضحة سهلة الملاحظة كما نجدها فى الماء . فلنتتبع الآن بعض هذه التغيرات ، ولاحظ أن معظمها يتم وفق ما سبق شرحه من خطوات . على أن بعضها قد يفاجئك بنتائج لم تكن تتوقعها على الإطلاق .

لنبدأ بإناء مملوء بماء بارد إلى حافته ثم نضعه على النار . إن الماء سرعان ما يسخن . إنه يتمدد ، كما يتمدد الماء الملون فى القنينة المنشورة فى صفحة ٣٤ . ولا يلبث ماء الإناء أن يفيض من حافته إذ لم يعد له مكان فيه . وتستمر درجة حرارة الماء فى الوعاء ترتفع ، وأخيراً تبدأ فى الغليان . ويتحول الماء سريعاً من سائل إلى غاز ، وهذا الغاز هو البخار أو بخار الماء . وعند ما يبدأ الماء فى الغليان ، فإن التسخين لا يرفع حرارته أكثر من درجة الغليان . ويصبح عمل الحرارة مجرد تحويل الماء إلى بخار . إن الماء الذى يستمر يغلى فى وعاء مفتوح لمدة ساعة ليس أسخن من الماء حين يبدأ فى الغليان .

وتريك الصورة المنشورة فى أعلى صفحة ٩ طريقة نتحكم بها فى جمع البخار الذى ينبعث من الماء المغلى ويحوله ثانية إلى ماء . وترى أنبوبة الاختبار محاطة بماء بارد . إن بعض البخار الذى يسرى فى الأنبوبة المتصلة بالقنينة ؛ يبرد بدرجة كبيرة حتى إنه يتحول إلى سائل . ويكون الماء الذى يتكوّن منه فى أنبوبة الاختبار ساخناً .

ولنفرض الآن أننا نبرد الماء الساخن الذى تكوّن من البخار . فالماء ينكمش عند ما يبرد، ثم إنه يستمر فى هذا الانكماش حتى يصل إلى درجة حرارة أعلى بقليل من درجة الحرارة التى يتجمد عندها الماء ، ثم يبدأ فى التمدد ويستمر فى هذا التمدد حتى يصل إلى درجة التجمد ، وعند ما يتجمد يزداد تمدده . ويشغل الثلج حيزاً أكبر من الحيز الذى كان نفس الثلج يشغله وهو ماء . وعندما تزداد برودة الثلج ينكمش . وقد تظنه أمراً عجباً أن نتحدث عن تبريد الثلج . إن

الثلج بارد تماماً ولا شك ، ورغم ذلك هنالك كمية من الطاقة الحرارية فى مكعب كبير من الثلج لا يمكن أن نغفلها . إن الحقيقة التى تتجلى فى تمدد الماء إذا اقترب من درجة التجمد، بالغة الأهمية لكل الكائنات الحية على ظهر البسيطة . فهذه الحقيقة تفسر لنا لمَ تتجمد كتلة الماء من أعلى إلى أسفل ، لا من أسفل إلى أعلى.

ولو حدث أنّ تجمد عمود الماء العميق من أسفل إلى أعلى، لما استطاعت حرارة الشمس أن تصل إلى الثلج فيذوب فى الصيف . ولو حدث ذلك ، لتراكم الثلج سنة بعد سنة ، حتى ينتهى الأمر إلى تجمد بحيراتنا ومحيطاتنا فتصبح ثلجاً جامداً، وبذلك يقضى على الكائنات الحية التى تعيش فى بطن الماء .

ولكن كيف يفسر لنا تمدد الماء إذا قارب درجة التجمد السر فى تجمده من أعلى إلى أسفل ؟

إن الماء يثقل وزنه إذا انكمش ، فيصبح هناك عدد أكبر من الجزيئات المضغوطة فى نفس الحيز . فعندما يبرد الماء على سطح بحيرة أكثر من الماء الذى تحته، يحلّ هذا الماء الذى هو تحته محله، ويعلو عليه لأنه أخف . ولكن الماء على سطح البحيرة يصل فى النهاية إلى درجة الحرارة التى يبدأ عندها فى التمدد ، ومن ثمّ يصبح أخف وزناً ، وبدلا من أن يرسب ، تراه يبقى فى القمة . فإذا ازدادت برودته جمد وازداد تمدده . والثلج الذى يتكون منه أخيراً، يكون أخف وزناً من الماء الذى تكوّن منه، ومن ثم يطفو على السطح .

ويمكن تفسير ما يحصل للماء عند ما يجمد، بأن الماء يرتب جزيئاته من جديد بحيث تكوّن بللورات ، فتشغل حيزاً أكبر من الحيز الذى كانت تشغله من قبل ، وذلك بسبب ما بين البللورات من مسافات .

لماذا تنفجر أنابيب المياه أحياناً عند ما يجمد فيها الماء ؟ لماذا يرتفع اللبن فى قنينته عند ما يتجمد ويعلو عن فمها ؟ لماذا تطفو مكعبات الثلج فى كوب عصير الليمون ؟ إنك الآن تستطيع الإجابة عن مثل هذه الأسئلة، بعد أن علمت أن الماء يتمدد عند ما يتجمد .

ألا يحدث أن تستخدم الماء وهو يتجمد لتحفظ شيئاً ساخناً ؟ إن هذا السؤال ليس سخيفاً كما يبدو ! إن الحرارة ضرورية لإذابة الثلج . ويمكن التعبير عن هذه الحقيقة بصورة أخرى، إذا قلنا إن الحرارة تمتص عند ما ينصهر الثلج. أما عندما يتجمد الماء، فإنه يتخلص من حرارته . ولهذا غالباً ما يضع الفلاحون الذين يختزنون مقادير كبيرة من

الفاكهة والخضراوات آنية ضخمة مملوءة بالماء فى هذه الأقبية التى تختزن فيها بضاعتهم، وذلك فى الليالى الشديدة البرودة . وتقل درجة تجمد الفاكهة والخضراوات عن درجة تجمد الماء . والغالب أن تكفى الحرارة التى تنبعث من تجمد الماء لحفظ الفاكهة والخضراوات من التجمد .

وتنبعث الحرارة أيضاً عندما يتحول بخار الماء إلى ماء . فالبخار الذى ينبعث من الماء وهو يغلى، حقيق بأن يسبب حروقاً أشد وأقسى من تلك التى يسببها الماء نفسه الذى يغلى . إن الماء الذى يغلى والبخار الخارج منه كلاهما له درجة حرارة واحدة؛ ولكن البخار عندما يلمس جلدك، يتحول جزء منه إلى ماء؛ فيفقد الحرارة التى امتصها عندما تحول إلى بخار .

ولعلك تدرك وأنت على قمم الجبال العالية ، صعوبة طهى البيض أو البطاطس فى ماء يغلى ، وعليك إذن أن تدرك السبب . إن الماء يغلى على قمم الجبال فى درجة حرارة أقل بكثير من درجة غليانه وهو فى مستوى سطح البحر . ذلك لأن ضغط الهواء فى قمم الجبال أقل من ضغطه عند سطح البحر . تذكر أن الماء لا تزداد درجة حرارته أبداً بعد أن يبدأ فى الغليان ، وتذكر أيضاً أن الحرارة هى التى تطهى الطعام ، وليست الفقاقيع التى يكونها الماء وهو يغلى . إنك تستطيع أن تدرك السبب فى أن الناس على قمم الجبال نادراً ما يأكلون طعاماً مسلوقاً .

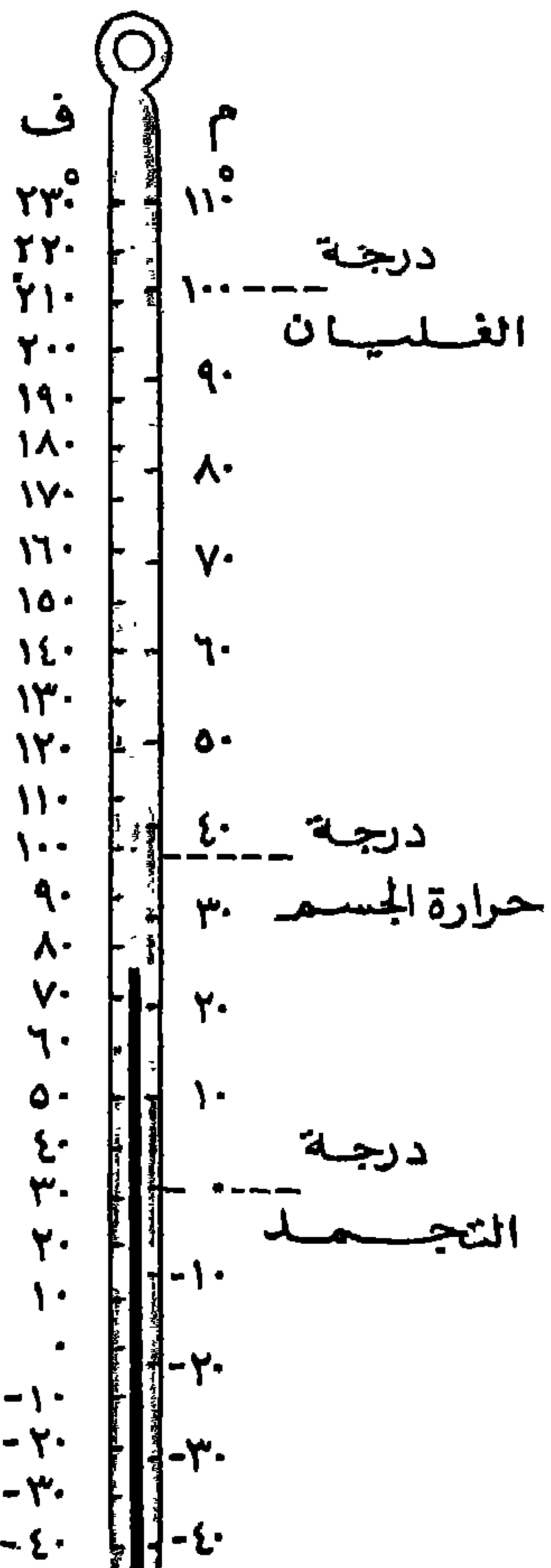
## « قياس الحرارة »

إننا نقيس الحرارة بالترمومترات كما تعلمون . ومعظم الترمومترات التى نستخدمها ترمومترات زئبقية . ويريك الرسم الكروكى المنشور على صفحة ١٣ ، ترمومتراً زئبقياً . قد يبدو شكله غريباً لأنه ليس مثبتاً إلى قائم خشبى أو معدنى يسنده من خلفه، ولكن هذا الترمومتر يستخدم فى تجارب العلوم . وترى مستودع الترمومتر الزجاجى فى أسفله مملوءاً بالزئبق . ومن هذا المستودع تبدأ أنبوبة زجاجية، لها جدران سميكة وقناة صغيرة متناهية فى الصغر تخترقها من وسطها تماماً . وهذه الأنبوبة مغلقة بإحكام عند قمتها العليا. ويتمدد الزئبق فى المستودع عند ما يسخن . وهو لا يستطيع أن يتمدد داخل الأنبوبة إلا فى اتجاه واحد — من أسفل إلى أعلى — ومن ثم فإن الزئبق يرتفع فى هذه الأنبوبة عند تسخين البصيلة . وهذا المجرى الذى تراه فى الأنبوبة دقيق غاية الدقة لدرجة أن أى تمدد فى الزئبق، مهما كان قليلا، يظهر فيه بوضوح . وينكمش الزئبق عندما يبرد ويعود إلى البصيلة.

الترمومترات الطبية شديدة الشبه بالترمومتر المنشورة صورته على هذه الصفحة . بيد أن هناك فارقاً هاماً بينهما ، ذلك أن الترمومتر الطبى توجد به نقطة ضيقة فى أنبوبته فوق البصيلة مباشرة . فعند ما يتمدد الزئبق فى مستودعه ، يستطيع أن يندفع فى طريقه عبر هذا المضيق ، ولكنه لا يستطيع أن يرتد إلى بصيلته عبر هذه النقطة الضيقة عندما ينكمش قبل أن يرج إلى أسفل رجًّا متواصلا .

وتقاس الحرارة بالدرجات . ويرمز العلماء إلى هذه الدرجات بدائرة صغيرة توضع فوق رقم الدرجة . لاحظ أن الترمومتر فى هذا الرسم له مجموعتان من الدرجات . فهنالك تقسيمان للترمومترات ، أحدهما هو تقسيم فهرنهيت والآخر هو التقسيم المئوى « سلسيوس » . ويرمز الحرف ( ف ) لترمومتر فهرنهيت ، كما يرمز الحرف (س) للترمومتر المئوى .

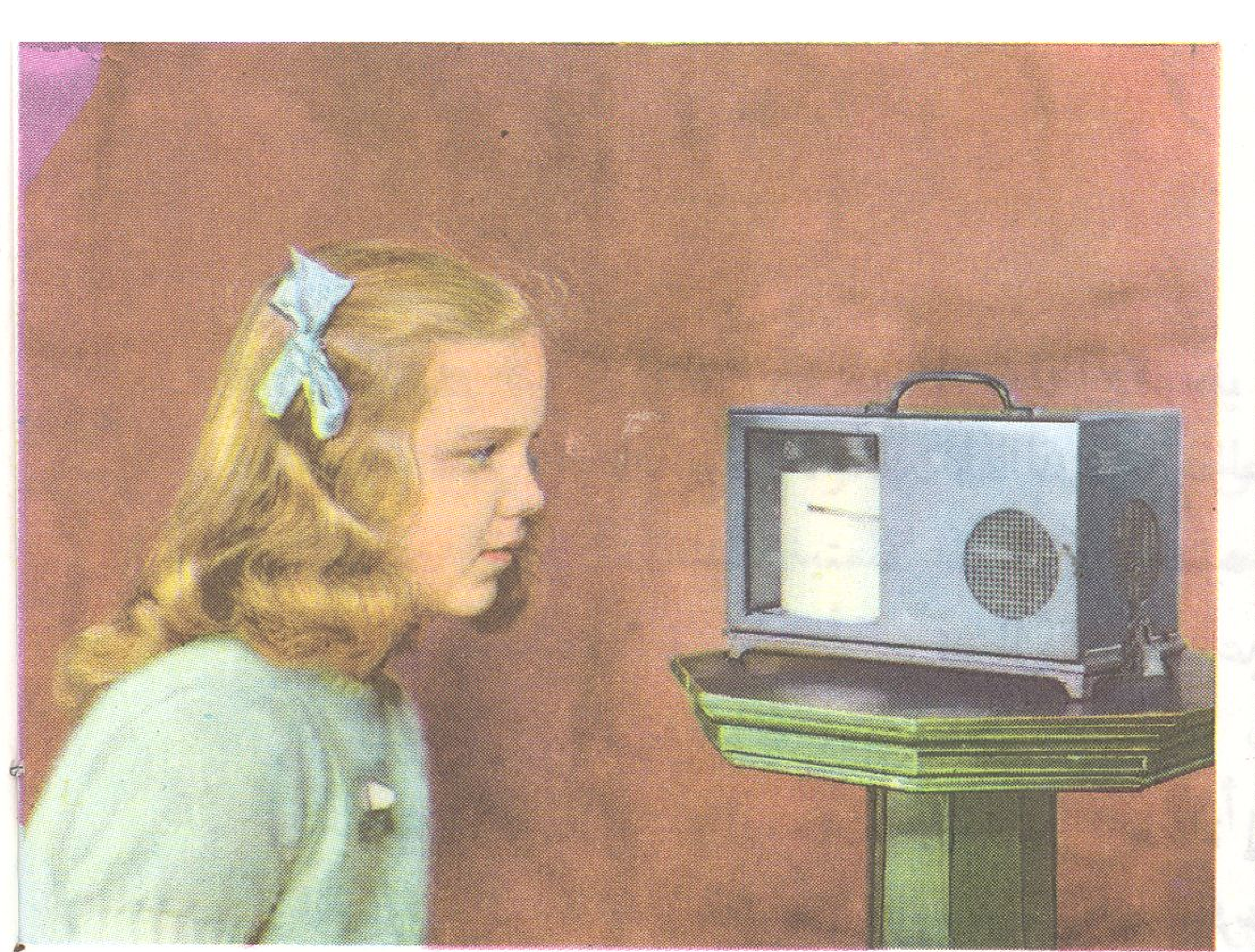
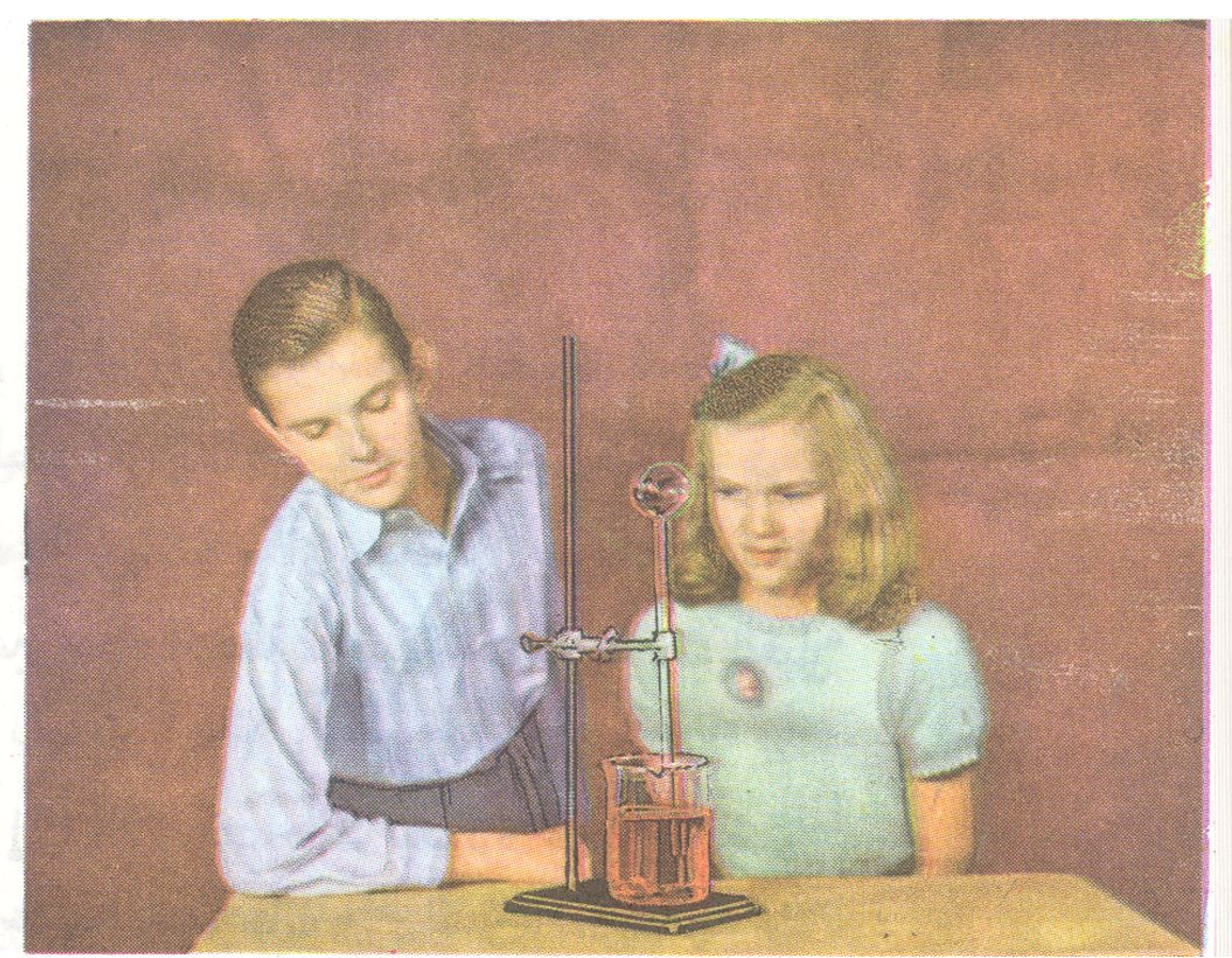
وقد اخترع تقسيم فهرنهيت عالم ألمانى اسمه « فهرنهيت » . وبمقتضى هذا التقسيم جعلت درجة تجمد الماء ٣٢° ، ودرجة الغليان ٢١٢° . ومعظم الترمومترات التى تستخدم فى الولايات المتحدة من هذا النوع .




« أما التقسيم المئوى ، فقد اخترعه عالم سويدى يسمى «سلسيوس ». ونقطة التجمد هى درجة الصفر ( ٠° ) ونقطة الغليان هى درجة المائة ( ١٠٠° ) . ومعظم الترمومترات المستعملة فى أوربا ، وكذلك الترمومترات المستخدمة فى الأغراض العلمية بالولايات المتحدة ، ترمومترات مئوية .

افرض أن شخصين فى فصلك يقيسان درجة حرارة الهواء فى الحجرة . قد يقول أحدهما إن درجة الحرارة هى ٢٠° ؛ بينما يقول الآخر إنها ٦٨° . وقد يكون كلاهما مصيباً ، ذلك لأن أحدهما يقرأ ترمومتراً مئوياً ، بينما يقرأ الآخر ترمومتراً فهرنهيتياً .

قد يلذ لك أن تعلم الطريقة التى نحول بها درجات الترمومتر المئوى إلى ما يقابلها من درجات ترمومتر فهرنهيت أو العكس . ويمكن الوصول إلى هذا الغرض بالطريقة الآتية :

للتحويل من درجات فهرنهيت إلى درجات مئوية ، اطرح ٣٢ ثم اقسم على ١,٨. وللتحويل من درجات مئوية إلى فهرنهيت ، اضرب فى ١,٨ ثم أضف إليها ٣٢ .

وهناك أنواع أخرى من الترمومترات لها تقسيمات مختلفة ، ولذا فإن قراءة أى ترمومتر ينبغى أن تشمل الحرف الذى يرشد إلى نوع التقسيم الذى يعمل بمقتضاه .

ولا يمكن استخدام ترمومترات الزئبق فى قياس درجات الحرارة التى تزيد على ٦٧٤,٦° فهرنهيت أو أقل من درجة –٣٨° فهرنهيت (وعلامة الناقص (–) معناها تحت الصفر). ودرجة الحرارة الأولى هى درجة غليان الزئبق، أما الثانية فهى درجة تجمده .

وتستخدم ترمومترات الكحول لقياس درجات الحرارة المنخفضة جداً. وهذه الترمومترات تشبه الترمومترات الزئبقية إلى حد كبير ، وتختلف عنها فى أن بصيلاتها تملأ بالكحول الملون لا بالزئبق . ويستخدم هذه الترمومترات الكحولية المستكشفون فى المناطق القطبية. ودرجة تجمد الكحول هى –٢٠٢° فهرنهيت ؛ وهى درجة تقل كثيراً عن أقل درجات الحرارة التى أمكن الوصول إليها فى المناطق القطبية . ولكن هذه الترمومترات الكحولية لا تستطيع أن تقيس درجات الحرارة العالية ، ذلك لأن درجة غليان الكحول هى ١٧٢,٩° فهرنهيت فقط .

ولقد استطاع جاليليو ، العالم الإيطالى الشهير ، أن يخترع ترمومتراً ، كان من الترمومترات الأولى التى ظهرت فى العالم واستخدمت . ومستودع هذا الترمومتر مملوء بالهواء . وتريك الصورة اليمنى فى هذه الصفحة رسماً لترمومتر هوائى ، فنلاحظ أن مستودعه فى أعلاه . وعندما يسخن الهواء فى هذا المستودع ، يتمدد ، فيندفع الماء الملون فى أسفل الأنبوبة . وعندما يبرد الهواء فى هذا المستودع ، يرتفع الماء ثانية . ولقياس درجات الحرارة العالية ، تستخدم ترمومترات الغازات التى تشبه إلى حد كبير ذلك الترمومتر المنشورة صورته هنا .

وفى بعض الترمومترات الأخرى ، يستخدم ملف مصنوع من نوعين مختلفين من المعدن.

وهذا الملف يتمدد وينكمش كلما تغيرت درجة الحرارة . وهناك مؤشر مثبت فى أحد طرفى الملف . وهذا المؤشر يتحرك كلما تمدد المعدن أو انكمش .

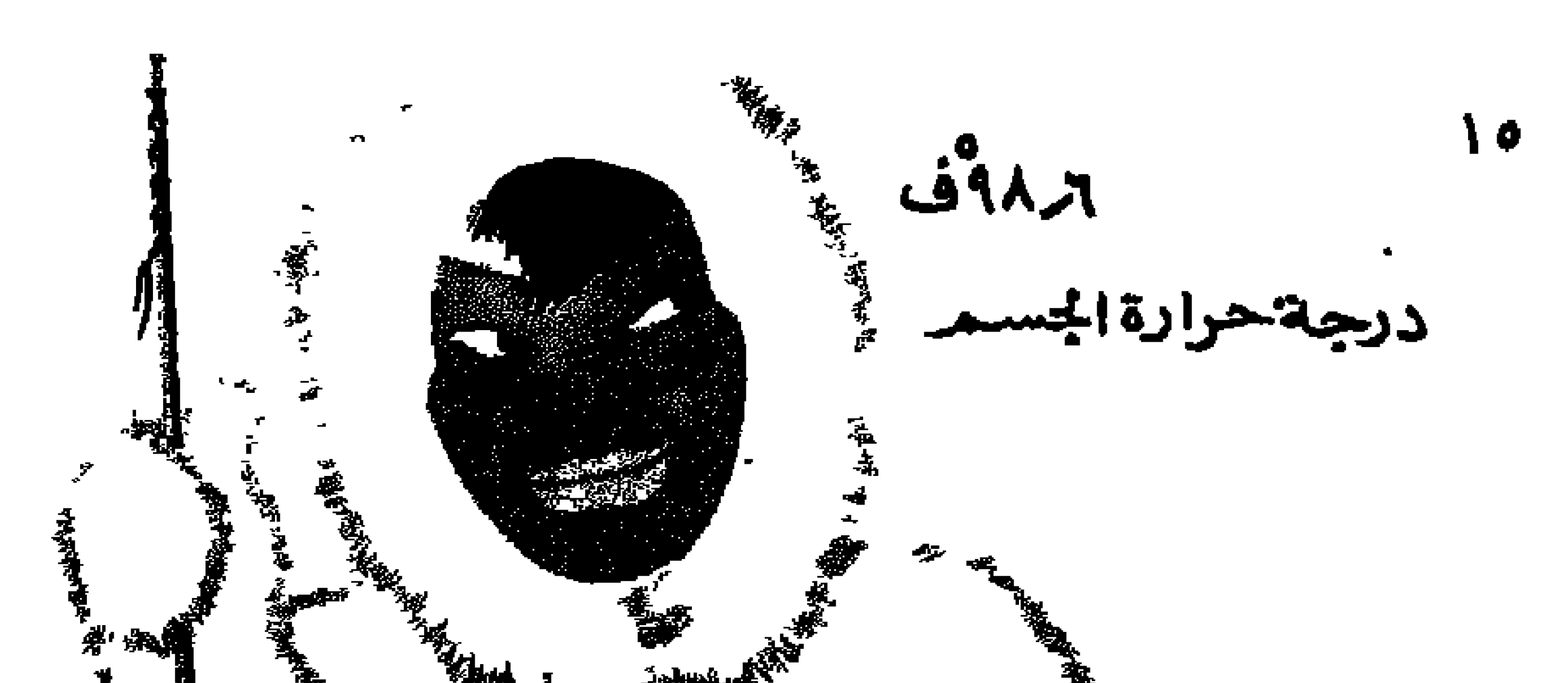
والترمومتر الذى ترى صورته فى الناحية اليسرى من صفحة ١٤، ترمومتر معدنى من نوع خاص ، وهو يسجل درجات الحرارة . ويحل محل المؤشر قلم يتصل بملف المعدن .

وهذا القلم يتحرك إلى أعلى وإلى أسفل كلما تمددت أو تقلصت قطعتا المعدن فى هذا الملف . وعندما يتحرك القلم، يسجل علامات على ملف من الورق، يدار بمحور تديره تروس تعمل كتروس الساعة .

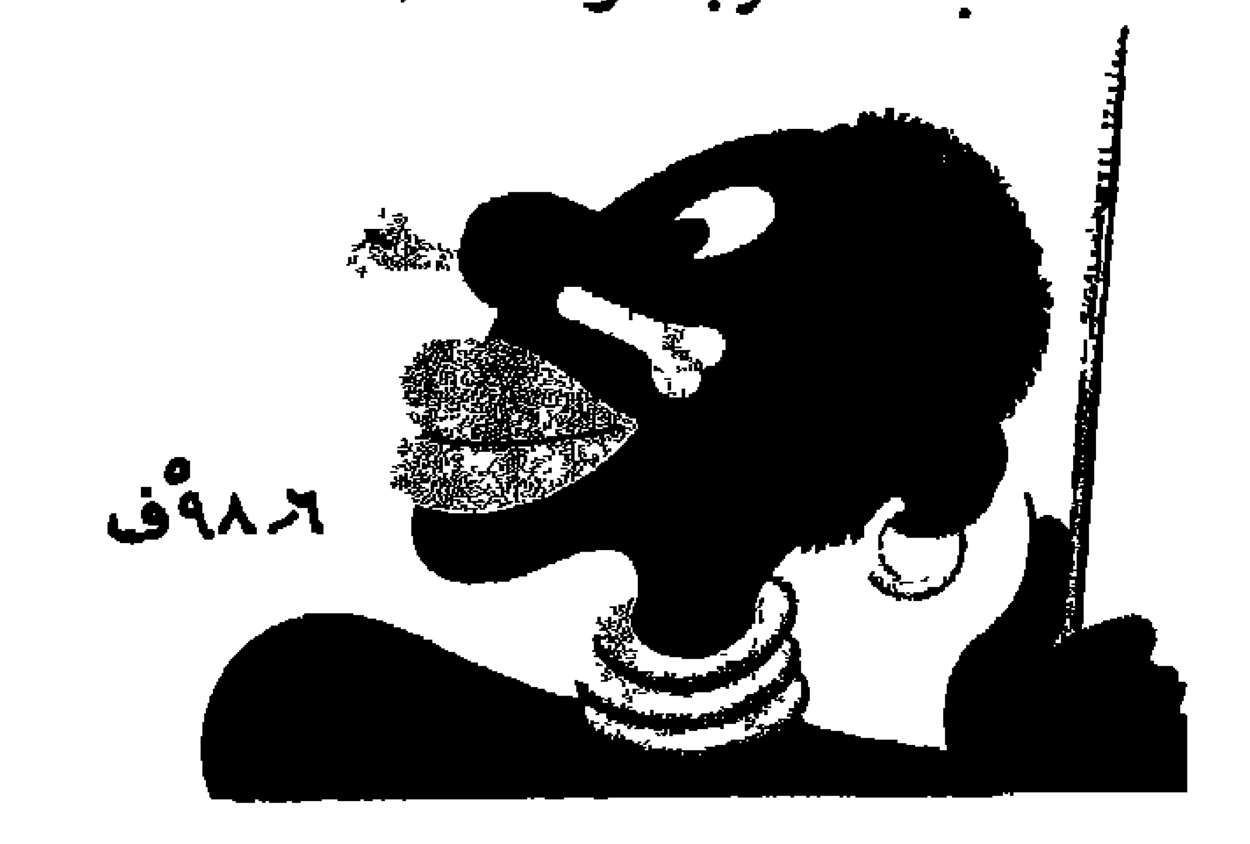
وقد تعجب حين تقرأ عن درجات حرارة الكواكب شقيقات الأرض، وكيف توصل الإنسان إلى تقدير درجة حرارة كل من هذه الكواكب ، ولم يتمكن أحد بطبيعة الحال من أن يأخذ ترمومتراً إلى أحد هذه الكواكب ، ولكن هنالك أنواعاً خاصة من الترمومترات يمكن أن نعرف بها درجة حرارة الأشياء البعيدة عنا بعداً شاسعاً . وهذا الترمومتر يستطيع أن يخبرك عن إطفاء شمعة صغيرة فى كعكة لعيد ميلاد بينك وبينه عدة أميال .

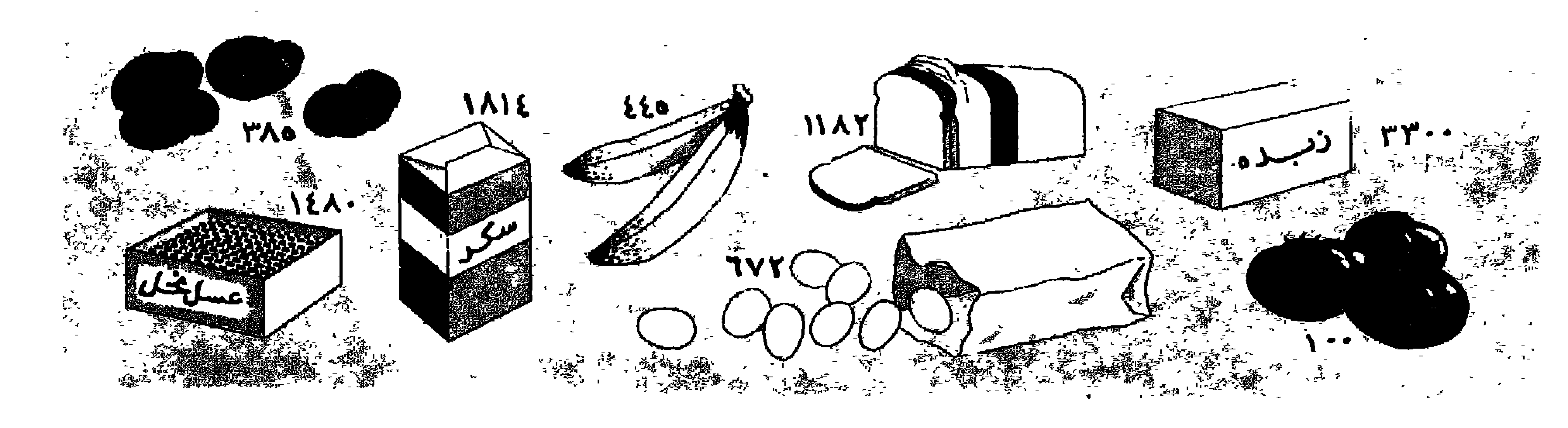
لقد علمت فيما سبق أنه من الصعب عليك أن تجرد الجسم من كل حرارته. ولكن ماذا تكون درجة حرارته لو أنك جردته من كل حرارته؟ هذه الدرجة الدنيا التى يمكن الوصول إليها فى درجات الحرارة، يمكن أن تسمى أحياناً درجة الصفر المطلق، ولكن كيف تترجم هذه الدرجة على الفهرنهيت ؟ والمئوى ؟ ستكون هذه الدرجة هى ( — ٤٥٩٫٤° ) فهرنهيت ، ( — ٢٧٣° مئوية ) هذا، وعلى النقيض من ذلك ، يظن أن درجة حرارة الشمس من الداخل هى ٢٠° مليون درجة فهرنهيت .

وقد تحتاج فى بعض الأحيان إلى قياس كمية الحرارة ، وكمية الحرارة شىء مختلف كل الاختلاف عن درجة الحرارة ، فدرجة حرارة كوب من الماء قد تكون هى هى درجة حرارة بحيرة كبيرة، ولكن هناك طاقة حرارية فى البحيرة تفوق بكثير تلك الطاقة الموجودة فى كوب الماء . وفوق ذلك هناك طاقة حرارية فى رطل من الماء الساخن أكثر من تلك الطاقة الحرارية التى تجدها فى رطل من الحديد أو من التربة الجافة وهما فى درجة حرارة لا تختلف عن درجة حرارة الماء . ورفع درجة الحرارة لرطل من الماء درجة واحدة، يتطلب قدراً من الحرارة أكبر مما يتطلبه رفع درجة حرارة رطل من الحديد أو التربة الجافة درجة واحدة .








وعندما نشترى الوقود، يهمنا بطبيعة الحال أن نعرف أى أنواع الوقود يمدنا بأكبر قسط من الحرارة . وفى إعداد الموائد الهامة، يهمنا أن نعرف مقدار الحرارة التى يمدنا به كل صنف من أصناف الطعام .

وتقاس كمية الحرارة إما بالسعر أو بالوحدات الحرارية البريطانية . ولعلك سمعت بكلمة سعر. وتقدر أغذيتنا من حيث قيمتها كوقود عادة بالسعرات. وتعطيك الرسوم الكروكية المنشورة على هذه الصفحة، القيمة الوقودية لبعض الأطعمة. أما القيمة الحرارية للوقود، فإنها تقاس عادة بالوحدات الحرارية البريطانية . فالقيمة الحرارية لرطل من البترول تبلغ عشرين ألف وحدة حرارية بريطانية ، بينما لا تعدو القيمة الحرارية لرطل من خشب البلوط ٨٣٠٠ وحدة حرارية بريطانية . ويدفع الناس فى بعض المدن حساب الغاز الذى يستهلكونه تبعاً للقيمة الحرارية لهذا الغاز، لا حسب الكم الذى يستهلكونه .

## « انتقال الحرارة عن طريق التوصيل »

إن مجرد معرفة الطريقة التى نحصل بها على الحرارة لا تساوى شيئاً كثيراً إذا لم نصل إلى الطريقة التى نحاول بها نقل هذه الحرارة إلى حيث نريد . افرض أنك تريد أن تقلى بيضاً ، فأنت تشعل موقد الغاز ، ثم تضع البيض فى وعاء من المعدن، وبعد ذلك تضع الوعاء على النار . هذا الوعاء المعدنى هو عبارة عن طريق سهل يوصل الحرارة من اللهب . والبيض يتم نضجه لأن الحرارة التى تنبعث من موقد الغاز تنتقل خلال الوعاء المعدنى ، ثم من هذا الوعاء المعدنى تنتقل بدورها إلى البيض . والحرارة تنتقل بوسائل متعددة؛ وهى فى هذه الحالة بالذات تنتقل بطريق التوصيل .

فعن طريق التوصيل تنتقل الحرارة مباشرة من جزىء إلى جزىء آخر . فالجزىء الأول الذى يتسلم الحرارة قبل غيره يتذبذب بسرعة أكثر من غيره من الجزيئات . ثم تنتقل الحرارة من هذا الجزىء إلى جزىء آخر ، فينتج عن ذلك أن يتذبذب هذا الجزىء الآخر بدوره أسرع من غيره. وهكذا تنتقل الحرارة إلى باقى الجزيئات .

وتستطيع الحرارة أن تنتقل عن طريق التوصيل فى كل المعادن ، ولكنها تنتقل فى

بعضها بأسرع مما تنتقل فى غيرها . وتسمى المواد التى تنتقل خلالها الحرارة بسرعة عن طريق التوصيل ( جيدة التوصيل للحرارة )، أما الأجسام التى لا تنتقل فيها الحرارة بسرعة عن طريق التوصيل فإنها تسمى ( رديئة التوصيل للحرارة ) ، أو مواد عازلة .

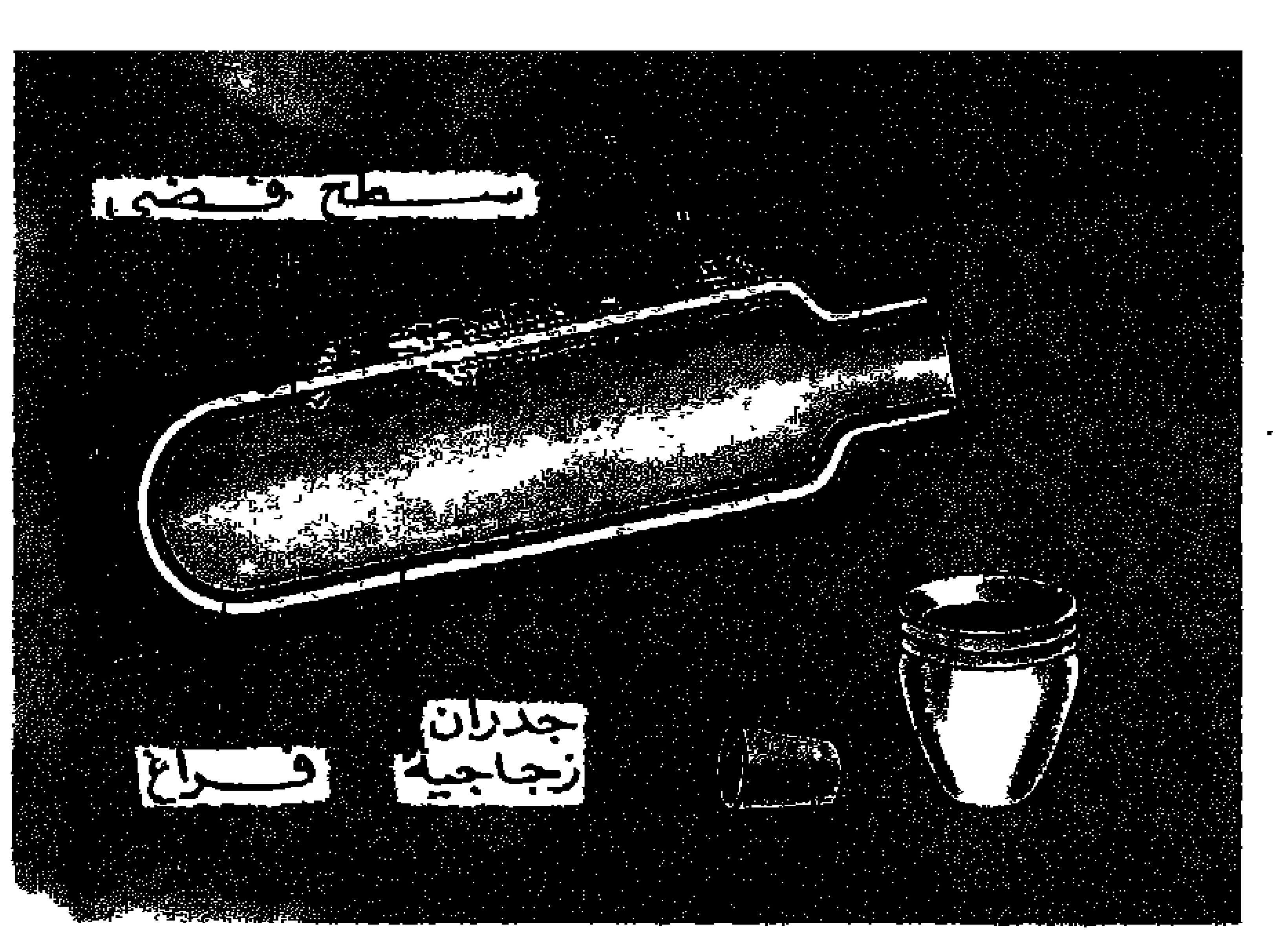
وعلى العموم، فإن الأجسام الصلبة توصل الحرارة بطريقة أحسن من السوائل؛ كما أن السوائل توصل هذه الحرارة أفضل من طريقة توصيل الغازات لها . ولا تعتبر هذه مشكلة بالنسبة لك، إذا أنت تذكرت أن جزيئات الأجسام الصلبة متقاربة بعضها إلى بعض أكثر من تقارب جزيئات السوائل ، كما أنها تفوق فى تقاربها هذا تقارب جزيئات الغازات . وإنه لمن العسير على الحرارة أن تنتقل من جزىء إلى جزىء إذا كانت هذه الجزيئات متباعدة بعضها عن بعض .

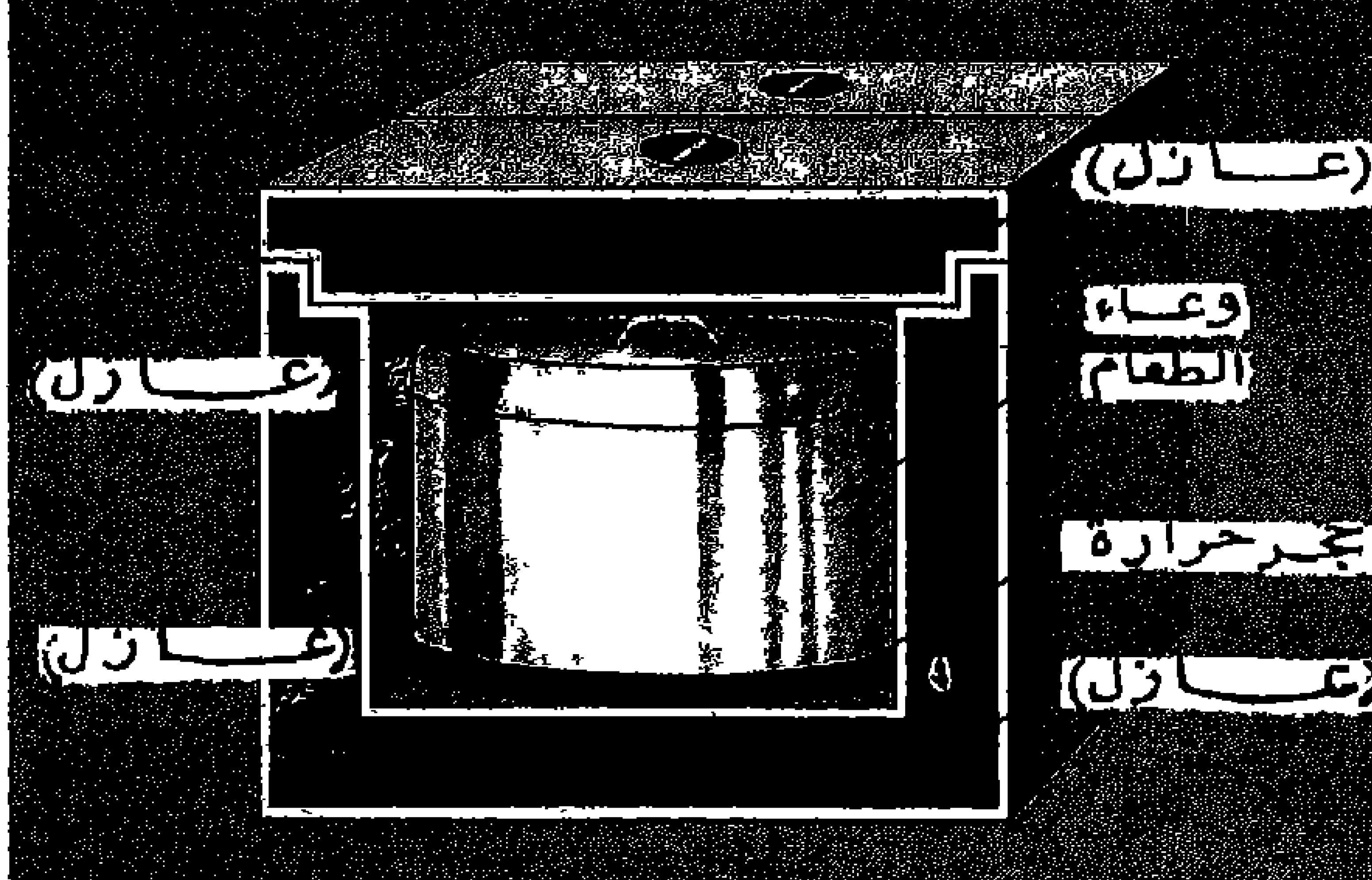
ولا تعتبر الأجسام الصلبة جميعاً جيدة التوصيل للحرارة . فالزجاج والخشب والحرير الصخرى أو ورق الحرارة ( الأسبستس ) رديئة التوصيل ، على الرغم من أنها تفضل الهواء فى القدرة على التوصيل . وتعتبر الفضة أحسن الأجسام الموصلة للحرارة حتى الآن . وبرغم أن كل المعادن تعتبر جيدة التوصيل ، إلا أنه ليس هناك معدن يفوق الفضة فى هذا المضمار . ويلى النحاس الفضة فى الترتيب ، من حيث قابليته لتوصيل الحرارة .

إن الفتى الذى ترى صورته منشورة على صفحة ١٩ ، يختبر درجة التوصيل فى معادن مختلفة . فكل قضيب من القضبان التى توصل من مركز الجهاز الذى يعرّضه للهب ، مصنوع من معدن يختلف عن القضبان الأخرى ، وقد غمس طرف كل قضيب فى مادة كيميائية سهلة الاشتعال . وتشتعل أولا المادة الكيميائية حول القضيب المصنوع من أجود المعادن توصيلا للحرارة ؛ بينما تشتعل المادة الكيميائية حول القضيب المصنوع من معدن ردىء التوصيل للحرارة أخيراً .

وتبين لك الصورة المنشورة فى أسفل صفحة ١٩ ، أن الحديد موصل جيد للحرارة . وترى الفتى ممسكاً بشبكة من سلك من حديد يعرّضه لمصباح « بنسن » . لقد أشعل الغاز فوق الشبكة، فشوهد أن الاشتعال مقصور على المنطقة الواقعة فوق الشبكة لا تحتها،





ذلك لأن السلك المعدنى يمتص الحرارة بسرعة تمنع الغاز تحت الشبكة من أن يلتهب

وتبين لك الرسوم الكروكية فى هذه الصفحة ، بعض الأغراض التى تستخدم من أجلها الأجسام التى توصل الحرارة توصيلا جيداً . فمثلا تصنع الأوانى التى تستخدم فى عمل مكعبات الثلج من مادة جيدة التوصيل للحرارة ، ذلك لأننا نريد أن تنتقل الحرارة سريعاً بعيداً عن الماء ؛ إذ كلما أسرعت الحرارة فى الابتعاد عن الماء ، كلما أسرع الماء فى تحوله إلى ثلج .

وكثيراً ما نرغب فى الاحتفاظ بالحرارة فى بعض الأجسام . وهنا تؤدى لنا الأجسام رديئة التوصيل خدمة جليلة . ويوضح لنا الرسمان الكروكيان على صفحتى ٢٠ ، ٢١ ، فائدتين عامتين لهذه الأجسام — هما مقابض ملاعق الطبخ وأغلفة أنابيب الأفران .

والهواء — كما علمت — يعتبر ردىء التوصيل للحرارة بدرجة واضحة . كذلك الصوف ، ذلك لأن الصوف يحوى بين أليافه جيوباً دقيقة تمتلىء بالهواء . والفرو أيضاً موصل ردىء للسبب نفسه . وقد ثبت أن ٩٥ ٪ من مساحة القطعة من الفراء مملوءة بالهواء .

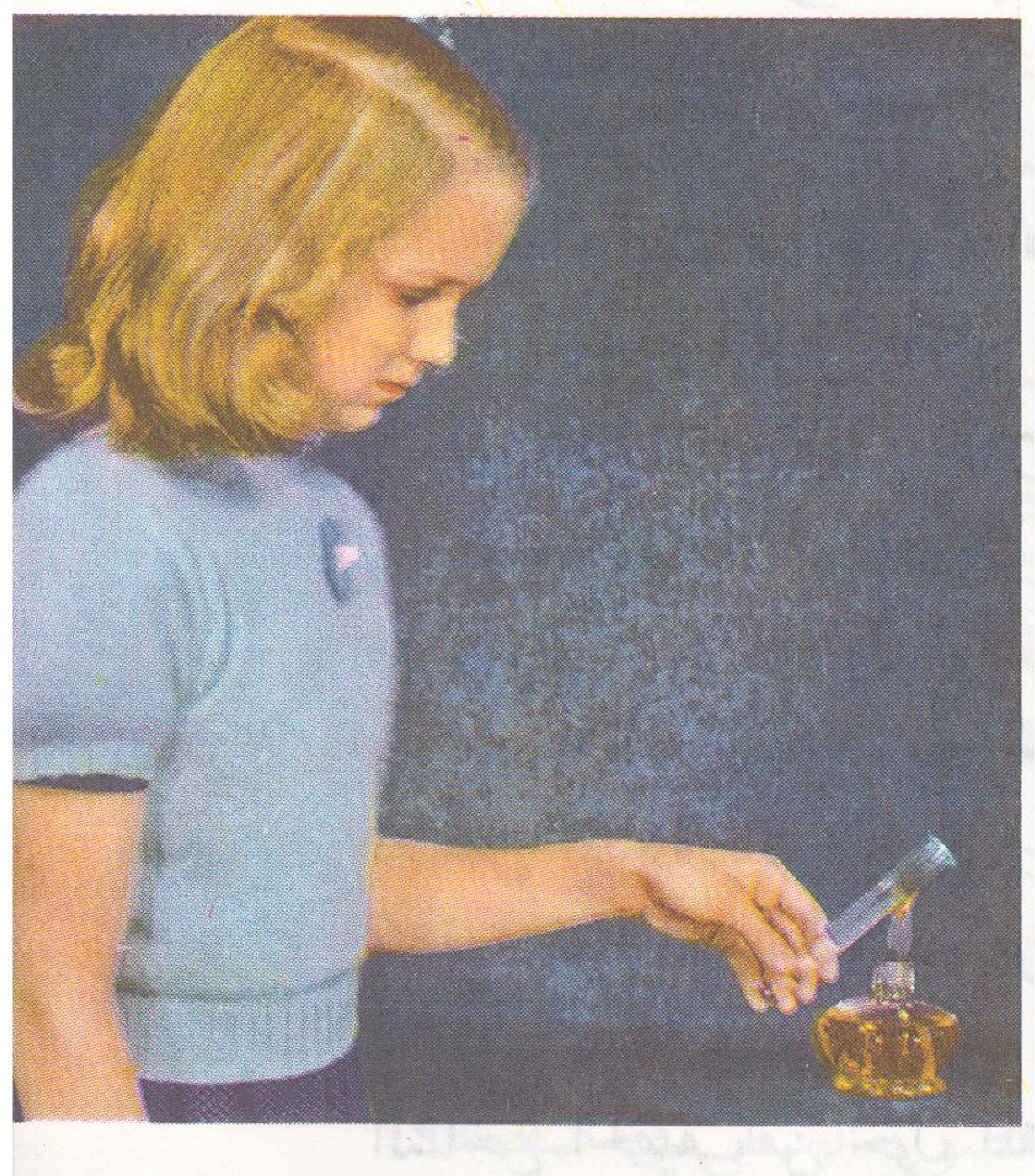
والماء ردىء التوصيل للحرارة ، ولو أنه لا يصل فى هذا المضمار إلى مرتبة الهواء . ويثبت ذلك الصورة المنشورة فى صفحة ٢٨ . فهناك قمع مملوء بالماء . لاحظ أن هناك ترمومتراً هوائياً مغموساً أعلاه فى الماء . لقد صب الأثير فوق الماء ثم أشعل . ولو أن هذا الأثير المشتعل تنبعث منه درجة حرارة عالية ، إلا أن الحرارة لا تصل إلى الترمومتر الهوائى خلال الماء بدرجة تسمح بتغيير ارتفاع الماء فى أنبوبة الترمومتر .

والأجسام الرديئة التوصيل يمكن استخدامها فى احتفاظ الأجسام بدرجة حرارتها ، ساخنة كانت أو باردة ، فتمنع الحرارة من أن تدخل أو تخرج . فالصوف والفراء تدفئك فى الشتاء لأنها تحول دون تسرب الحرارة من جسمك . وهى لا تجلب لك الدفء كما يقول بعض الناس خطأ ، ذلك لأن الحرارة التى تسبب هذا الدفء تنبعث من احتراق الغذاء داخل الجسم .

وقد استخدمت معلوماتنا عن الأجسام الرديئة التوصيل للحرارة فى جدران منازلنا ، وفى آنية الترموس ، وفى المواقد التى لا تستخدم فيها النار ، وفى أجهزة التبريد الكهربائية .

فتستخدم الجدران المزدوجة مثلا فى بناء المنازل . وغالباً ما تملأ المسافة بين كل جدارين بمادة رديئة التوصيل للحرارة كالحرير الصخرى . وهذه الجدران تساعدنا على الاحتفاظ بما فى المنازل من حرارة فى الشتاء ، أما فى الصيف فإنها تساعدنا فى عدم







تسرب حرارة الجو الخارجي إلى داخل بيوتنا .

ويوضح لك الرسم الأيسر على صفحة ١٧ ، الطريقة التي تصنع بها قنينة « الترموس » . فقد فرغ معظم الهواء بين جدران الزجاج ، ومن ثم فإنه يعتبر فراغاً جزئياً .
ولا ينتقل بالتوصيل عبر هذا الفراغ إلا قدر ضئيل جداً من الحرارة ، إذ لا ينقل الحرارة فى هذه الحالة إلا عدد قليل من الجزيئات . وإذا وضعت شراب الليمون البارد فى ترموس ، فإن الفراغ الواقع بين الجدران يحفظ السائل من أن يتأثر بالحرارة الخارجية ، ومن ثم يظل بارداً . وإذا وضعت مشروب الشيكولاتة الساخن فى الترموس ، فإن الفراغ يحتفظ بحرارة هذا السائل ، ولذلك يبقى ساخناً . لاحظ أن جدران الترموس مفضضة ، وسوف تدرك السبب فى ذلك حين تدرس طريقة أخرى من الطرق التى تنتقل بها الحرارة .

وجدران جهاز الطبخ الكهربائى ( الذى لا تستخدم فيه النار ) مزدوجة ، كما يوضح لك ذلك الرسم الإيمن فى صفحة ١٧ . والمادة العازلة بين الجدران تحول دون تسرب حرارة أى جسم ساخن فى هذا الجهاز . ولكى تستخدمه ، ينبغى أن تسخن كلا من حجر الطلق والطعام الذى تريد طهيه فوق موقد ، ثم عليك بعد ذلك أن تضع الطلق والطعام كليهما فى جهاز الطهى هذا ، ثم تغطيه ، وسوف يمد حجر الطلق الطعام ببعض الحرارة ، ويساعده على الاحتفاظ بها بدرجة تساعد على نضجه .

وتشبه جدران الثلاجة الكهربائية جدران جهاز الطهى هذا إلى حد كبير ، إلا أن المادة العازلة التى تستخدم فى الثلاجة ، تساعد على عدم تسرب الحرارة الخارجية إلى الداخل ، مثلما تساعد جدران جهاز الطهى على الاحتفاظ بدرجة الحرارة فى داخلها من أن تتسرب إلى الخارج .

ونحن لا نستطيع أن نعرف درجة الحرارة بمجرد شعورنا بها . فأنت تشعر فى قدمك العارية ببرودة أرضية الحجرة الخشبية شتاء فى الصباح، أكثر مما تشعر بهذه البرودة فى سجادة سميكة فوق هذه الأرضية، ولو كان الاثنان فى درجة حرارة واحدة . والمسألة تتلخص فى أن الخشب والصوف كلاهما موصل ردىء للحرارة حقيقة، ولكن رغم ذلك نرى أن الخشب يفضل الصوف فى قدرته على توصيل الحرارة . فالخشب يسلب قدمك العارية حرارتها بأسرع مما يسلبك الصوف إياها ، ولذا تشعر أن الخشب أبرد من الصوف . وإذا أنت وضعت مسماراً فى الشمس فى يوم قائظ الحر، فإنك تشعر أن المسمار أسخن من العصا التى بجواره ؛ ذلك لأن الحديد يحمل الحرارة إلى يدك بأسرع مما تحملها إليك العصا.

## « انتقال الحرارة عن طريق الحمل »

لقد علمت فيما سبق ، أن السوائل والغازات رديئة التوصيل للحرارة . ولو لم تكن هناك من وسيلة أخرى لنقل الحرارة فيهما ، لا قتضى الأمر أن تنتظر زمناً طويلا جداً حتى يسخن هواء الحجرة أو تسخن كمية من الماء فى قدر . بيد أن هناك عملية أخرى تؤدى مهمتها غالباً حين يمد الغازات والسوائل بالحرارة هذه العملية هى انتقال الحرارة بالحمل

وبشىء من الإيضاح ، تستطيع أن تدرك معنى عملية الحمل هذه . لنفرض أنك أوقدت مدفأة كهربائية فى حجرة جوها بارد . فى هذه الحال، تسخن طبقة الهواء التى تلامس المدفأة بالتوصيل . وحين تسخن هذه الطبقة تتمدد وتصبح أخف وزناً . وهنا يندفع الهواء البارد القريب من المدفأة نحوها وينتشر حولها بعد أن يدفع الهواء الساخن الخفيف بعيداً عنها إلى أعلى . ويستمر هواء الحجرة البارد فى الهبوط ثم فى تصعيد الهواء الساخن الخفيف من حول المدفأة . ومن ثم تنشأ دورة هوائية، من شأنها أن يسخن كل هواء الحجرة بعد قليل من الزمن . وهذه الحركة الجديدة هى « تيار الحمل » لأن فيها يحمل الهواء الحرارة حملا .

وترى الفتى والفتاة فى الصورة العليا من صفحة ٢٣، وهما يجريان تجاربهما على تيارات الحمل . فهما يمسكان بقطع من ورق الألمونيوم ، وهو معدن خفيف ، فوق مدخنة مصباح، ثم يتركان هذه القطع فيحملها تيار الهواء الساخن المتصاعد من المدخنة ويرفعها عالياً فوق المدخنة . فإذا هما أمسكا بقطع صغيرة من ورق هذا المعدن الخفيف بالقرب من الفتحة التى بأسفل المدخنة ، دخلت هذه القطع إلى المدخنة مندفعة بواسطة تيار

الهواء البارد الذي يتحرك صوب اللهب .

ونحن غالباً ما نستخدم تيارات الحمل هذه فى تهوية منازلنا . ويوضح الرسم التخطيطى المنشور على صفحة ٣١ تياراً للحمل بدأناه بفتح شباك عند كل من طرفيه العلوى والسفلى. ومثل هذا التيار لا يحدث إلا إذا كان الهواء خارج البيت أشد برودة من الهواء داخل البيت .

والفتى الذى ترى صورته فى وسط صفحة ٢٣ يجرى تجارب، مستخدماً صندوقاً للتهوية . وفى أطراف هذا الصندوق صفوف من ثقوب فى أعلاه وفى أسفله . فإذا فتحت كل هذه الثقوب ، دخل الهواء البارد فى الصندوق خلال الثقوب السفلى، ودفع أمامه الهواء الساخن وأخرجه من الصندوق خلال الثقوب العليا، فتظل الشموع التى به مشتعلة . فإذا أغلقت هذه الثقوب العليا، انطفأت الشموع لأن الهواء الساخن الذى استعمل فى الاشتعال لا يستطيع أن يتسرب ، ومن ثم تتوقف تيارات الحمل، فلا يدخل إلى الشموع هواء جديد تشتعل به .

وتيارات الحمل لا تتكون فى الهواء داخل جدران المبانى فحسب ، بل فى الخارج أيضاً . فنسيم البحيرة مثلا ، هو عبارة عن تيار من تيارات الحمل ؛ فى الصيف تسخن الأرض بأسرع من الماء. فى الأيام التى يكون فيها الجو حاراً، يحتمل أن يكون الهواء فوق الأرض بعد الظهر أسخن بكثير من الهواء فوق ماء البحيرة القريبة ، ومن ثم يتحرك الهواء البارد فوق البحيرة صوب الهواء الأسخن فوق الأرض، ويضغط عليها فيعلو لخفته ، ومن ثم ينشأ عنه نسيم بارد هو الهواء الآتى من البحيرة .

كذلك يمكن أن يتكون تيار الحمل فى أى سائل أو غاز . فهو يتكوّن مثلا فى أى وعاء يحتوى على ماء تسخنه نار من تحته .

والماء الذى فى أنبوبة الاختبار التى تراها مع الفتاة فى الصورة الوسطى فى صفحة١٩ يغلى ، ولكن يد الفتاة لا تسخن ، وذلك لأن الماء موصل ردىء للحرارة ، ولأنه لا يتكون فيه تيار من تيارات الحمل ، لأن الماء الأخف وزناً والأشد حرارة موجود فعلا فوق سطح السائل . والفتاة لا تستطيع أن تقبض على الأنبوبة من أعلاها وتعرّضها للمصباح لتسخن من أسفلها حتى يغلى الماء ، لأنه عندئذ تتكون تيارات للحمل، ويصبح الجزء العلوى من أنبوبة الاختبار ساخناً لا يستطيع أحد أن يمسك به .

وقد تعجب حين تفكر فى جدران أجهزة الطهى الآلية والثلاجات والمنازل ، لمَ تحتاج إلى شىء آخر غير الهواء داخل هذه الجدران المزدوجة ، والهواء معروف بأنه موصل ردىء

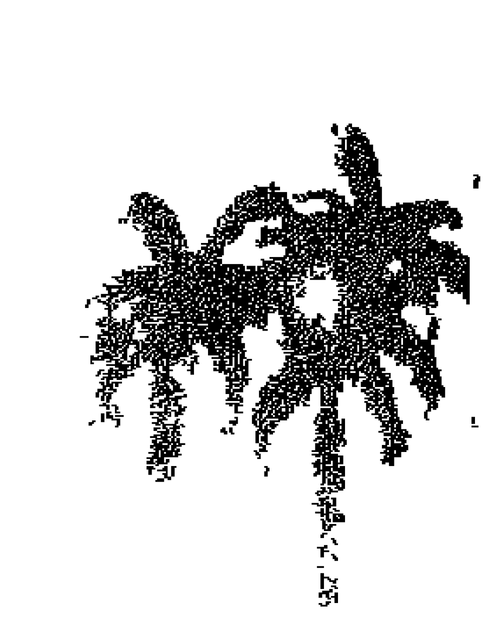
وأنت تستطيع أن تدرك الآن أننا عندما نملأ هذا الفراغ بين الجدران بمواد أخرى ، إنما نقصد أن نمنع الهواء فيه من أن ينطلق أو يتحرك كيفما شاء ، حتى لا تتسرب الحرارة إلى الخارج أو إلى الداخل بطريق الحمل .

## « الإشعاع »

إن الحرارة لا تنتقل بالتوصيل أو بالحمل إلا إذا كان هناك وسط مادى تمر فيه . وحرارة الشمس لا تصل إلينا بإحدى هاتين الوسيلتين ، لأن عليها أن ترحل إلينا خلال فراغ يقدر بملايين الأميال . ولذا فإنها تأتى إلينا عن طريق الإشعاع . وترسل الشمس إلينا « أى تشع » مقداراً ضخماً من الحرارة فى جميع الاتجاهات ، وذلك بما ترسله من موجات يسميها العلماء الحرارة الإشعاعية . وهذه الحرارة تشبه الضوء إلى حد كبير ، فإنها تنتقل بنفس السرعة التى ينتقل بها الضوء ،أى بسرعة نحو من ٣٠٠,٠٠٠ كيلو متر فى الثانية . وفوق ذلك تراها تنتقل فى خطوط عمودية أسوة بالضوء .

وموجات الحرارة الإشعاعية ليست ساخنة ، فهى لا تسخّن الفراغ الذى تمر فيه ، ولا تسخّن شيئاً إلا بعد أن تقابل جسماً يوقفها ويمتصها . وهى تمر خلال الهواء الرقيق فى طبقات الجو العليا دون أن تسخّنه . وعندما تقترب هذه الحرارة من سطح الأرض ، تمتص ذرات التراب والرطوبة فى الهواء بعض هذه الحرارة ، ويبدأ الهواء يسخن قليلا . ولكن معظم هذه الحرارة الإشعاعية التى تصل إلى الأرض تسرى خلال طبقات الجو دون أن تمتص .

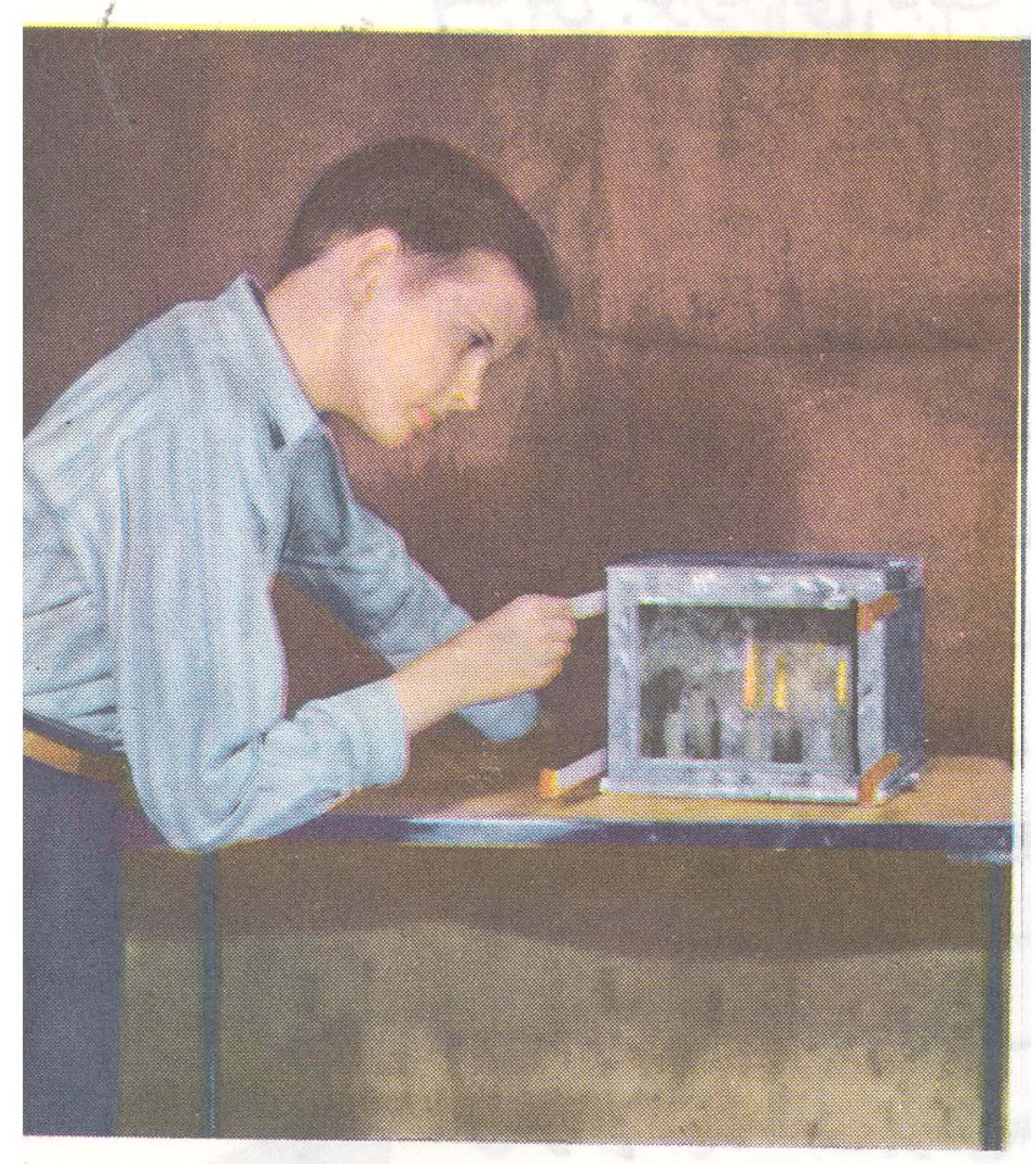
إلا أن الأمر يختلف عندما تصل الحرارة الإشعاعية إلى الصخور والتربة فوق سطح الأرض ، فهى لا تستطيع أن تمر فى الصخور أو التربة ، ولذا فإن بعضها ينعكس صوب الفضاء ؛ تماماً كما ينعكس الضوء على سطوح الأجسام ، ولكن معظمها يمتص . إنها تسخّن الصخور والتربة ، ومن ثم يسخن الهواء فوق الصخور والتربة بالتوصيل والحمل . ولكن التوصيل والحمل لا يسخنان الهواء إلا لبضعة الكيلومترات يسيرة فوق سطح الأرض .



هل أدركت الآن السبب فى أن الهواء من حولك سيكون بارداً جداً إذا بعدت عن سطح الأرض عشرة كيلومترات فى يوم من أيام الصيف ، وذلك على الرغم من أنك ستصبح أقرب إلى الشمس بمقدار هذه الكيلومترات العشرة ؟ ولذا فإن المكتشفين الذين يصعدون إلى طبقات الجو العليا ينبغى أن يقوا أنفسهم من البرد القارس فى هذه الطبقات .

وعندما تلامس الطاقة الإشعاعية سطح محيط أو بحيرة أو قناة ، ينعكس منها قدر كبير







وتمتص المياه السطحية جزءاً آخر منها ، ولكن جزءاً ثالثاً يدخل فى الماء لبضعة أمتار قبل أن يمتص . تذكر أن مقدار الحرارة اللازمة لتسخين رطل من الماء إلى درجة حرارة معينة ، يفوق بكثير ما نطلبه من حرارة لتسخين رطل من التربة الجافة لدرجة الحرارة نفسها . أيكون غريباً إذن أن تسخن المحيطات والبحيرات فى الربيع أبطأ بكثير من الأرض الجامدة ؟

وليست الشمس هى المصدر الوحيد الذى يشع الحرارة ، فإن كل جسم ساخن يشع حرارة . فمثلا معظم الحرارة التى تصل إلينا ونحن جلوس أمام نار مكشوفة ، تأتينا عن طريق الإشعاع أيضاً ، والحرارة تصل إلينا من المدفأة الكهربائية عن طريق الإشعاع . والأرض نفسها تشع حرارة . فهى تتلقى من الشمس يومياً مقداراً ضخماً من الحرارة، يشع جزء منها ويسرى فى الفضاء مرة ثانية . غير أنه يسهل إيقاف موجات الحرارة الإشعاعية التى تنبعث من جسم متوسط الحرارة كالأرض ، فى حين يصعب إيقاف تلك الموجات التى تنبعث من جسم عظيم الحرارة كالشمس . فالهواء يوقف الموجات الحرارية المنبعثة من الصخور ومن الأرض أسهل مما يستطيع إيقافها وهى آتية من الشمس . ولولا الهواء الذى يحيط بالأرض، لانخفضت درجة الحرارة إلى أقل من درجة الصفر حين تغرب الشمس كل مساء . أما والحالة كما هى عليه ، فإن الهواء يؤدى وظيفة الغطاء ، وبذلك يحول دون أن تفقد الأرض حرارتها بسرعة.

وتستطيع الآن أن تدرك كيف يؤدى البيت الزجاجى الدافئ الذى تربى فيه النباتات « المسمى بالصوبة » عمله . إنه يعمل مصيدة للحرارة ، فالحرارة الإشعاعية التى تنبعث من الشمس تمر خلال جدران الزجاج فى هذا البيت الأخضر .

وحين تصل هذه الحرارة إلى النباتات وإلى التربة فى هذا البيت الزجاجى فإنها تمتص، ومن ثم تسخن التربة والنباتات، وتنبعث من التربة والنباتات — بدورها — موجات من الحرارة الإشعاعية؛ إلا أن هذه الموجات يوقفها الزجاج، وإذن، فإن معظم الحرارة التى يتلقاها البيت الزجاجى من الشمس عن طريق الإشعاع، تحجز فيه ولا تتسرب منه.

أتذكر أن جدران الترموس الزجاجية مفضضة؟ إن السطوح المغلفة بالفضة تعكس الحرارة الإشعاعية. فإذا وضعت فى الترموس شيئاً بارداً أو مثلجاً، فإن هذه الجدران المغلفة بالفضة تساعد على منع الحرارة الإشعاعية من الوصول إليه أو تسخينه. وإذا وضعت فيه شيئاً ساخناً، فإن هذه الجدران المفضضة نفسها تساعد على احتفاظ هذا السائل الساخن بحرارته التى كانت تضيع بطريق الإشعاع.

ويثبت الولدان فى الصورة المنشورة على الغلاف الخارجى، أن الزجاج المطلى بطلاء معتم أسود يمتص الحرارة الإشعاعية أكثر من امتصاص الزجاج غير المطلىّ، فالأنتفاخان الزجاجيان اللتان فى الجهاز، كلاهما مملؤان بالهواء. والحرارة الإشعاعية التى تنبعث من الشمس تصل إلى كل منهما. وترى فقاقيع الهواء وهى تخرج من الأنتفاخ الزجاجى لأن السطح الأسود قد سخن بالحرارة الإشعاعية، ومن ثم فإن الهواء الذى فيه قد سخن هو الآخر وتمدد. أما فى الأنتفاخ الآخر، فإن الحرارة الإشعاعية إما انعكست عليها، وإما مرت خلاله ونفذت منه، ومن ثم لا تخرج من الأنبوبة فقاقيع.

ويرتدى الأوربيون الذين يعيشون فى المناطق الاستوائية ملابس بيضاء غالباً، ذلك لأن الملابس البيضاء تعكس الحرارة الإشعاعية أفضل من الملابس المعتمة المصنوعة من نفس القماش. فكلما انعكست الطاقة الإشعاعية، نقص المقدار الذى يمتص منها، وشعر الإنسان الذى يرتدى هذه الملابس بحرارة أقل.

وتفقد السطوح الحرارة الإشعاعية بنفس السرعة التى تمتصها بها. وتشع المواقد المعتمة الحرارة أفضل من إشعاع المواقد اللامعة لها، تلك التى تطلى بالنيكل. والماء الساخن يبرد بسرعة أقل فى إبريق الشاى الفضى، إذا كان هذا الإبريق لامعاً.

## « بيوتنا وإمدادها بالحرارة »

هل يروقك أن تعيش فى داخل موقد؟ هكذا كان كثير من الناس يعيشون منذ آلاف السنين. فالكهوف التى كان يسكنها الإنسان الأول، وأكواخ الفلاحين فى عهود الإقطاع، وخيام الهنود التى كانوا يصنعونها من جلود الحيوان — كل هذه كانت تدفأ

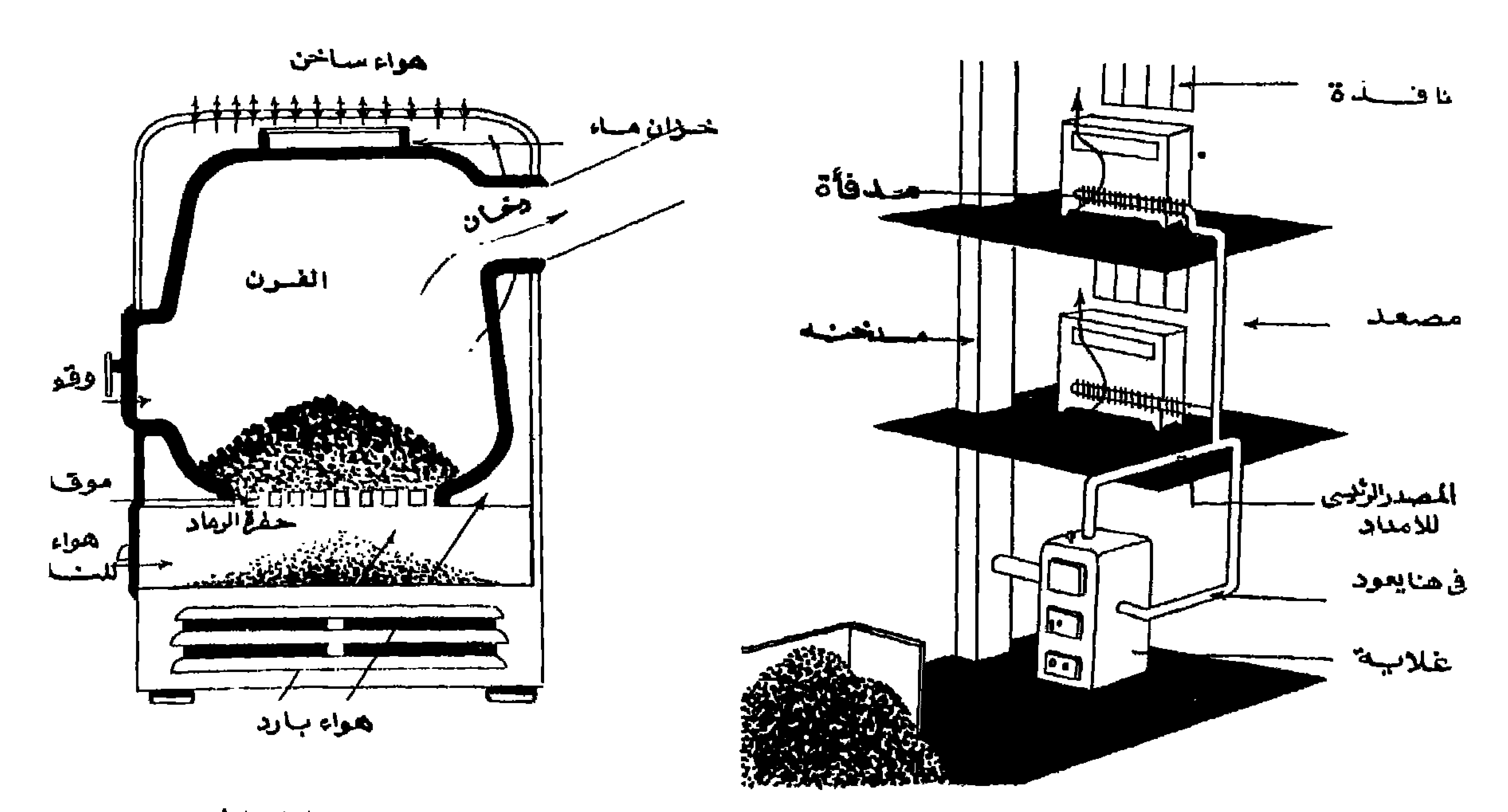
وتسخّن كالموقد سواء بسواء . فكانت المواقد تبنى فى وسط الغرفة ، كما كانت هناك فتحة تسمح بتسرب الدخان . وكانت هذه الفتحة غالباً فى سقف الحجرة فوق النار مباشرة . فكانت جدران الحجرة حينئذ ، كأنها جدران المواقد فى أيامنا هذه. وكان الناس فى داخل الحجرة يستنشقون الدخان والغازات المتصاعدة من النيران . وكان الرومان الأولون يطلقون على الحجرة الواحدة الدافئة فى منازلهم اسم « اتريوم ». وكلمة اتريوم معناها « الحجرة السوداء » ، وقد استمدت اسمها من السناج الذى يغطى جدرانها .

وقد بدأ اختراع المدفأة الحديثة المبنية فى الحائط داخل الحجرات حين بدىء بتحريك النار من وسط الحجرة إلى أحد جوانبها . وعلى مر الزمن اخترع بعضهم طريقة لبناء مظلة للمدفأة فى أعلى الحائط فوق النار لترشد الدخان إلى الفتحة ؛ وأخيراً بنيت المداخن الحقيقية ، وأصبحت المدفأة تتخذ شكلها الذى تراها عليه الآن . وكانت المدافىء التى تدفىء القلاع الإنجليزية فى العصور الوسطى كبيرة ، تحرق كتلا من الخشب يصعب على رجل فرد أن يحملها . وقد كانت المدافىء الأولى تستخدم فى طهى الطعام والتدفئة معاً . وكان لكثير من الناس أفران يخبزون فيها ؛ بنيت داخل الجدران . ولا تزال هناك فى الأجزاء الشرقية من الولايات المتحدة مدافىء ضخمة ذات أفران فى البيوت القديمة المتخلفة من عصر الاستعمار .

أما اليوم فإننا لا نستخدم المدفأة كمصدر رئيسى يمدنا بالحرارة على نطاق واسع ؛ اللهم إلا فى البيوت الريفية الصغيرة . ولكننا لا نزال نستخدمها لنتمتع بها . وليس هناك أبهى من منظر ألسنة اللهب التى تنبعث من نار الخشب فى ليالى الشتاء .

وعيب المدفأة الرئيسى هو أنها تسخن بالإشعاع فقط ، فالهواء الذى تسخّنه النيران يذهب مباشرة إلى أعلى المدخنة ، ومن ثم فإن تيارات الحمل لا تساعد على تدفئة الحجرة. وتذكر أن الحرارة الأشعاعية لا تسخّن سوى الأجسام التى تقف فى طريقها وتمتصها. فهى تسخن الجدران فيسخن الأثاث فى الحجرة وبالتالى يسخُن الهواء الذى حولها ؛ ولكن الجزء الأكبر من الهواء فى الحجرة لا يسخن بتأثير النار . فأركان الحجرة البعيدة عن النيران تكون باردة . وإذا جلست أمام نار مكشوفة ، شعرت فى وجهك بالحرارة شعوراً قوياً بينما تشعر ببرودة فى ظهرك .

وهناك مدافىء جديدة مستحدثة ، ومثلها تلك المدفأة المنشورة صورتها فى صفحة ٢٧ ، وقد أدخلت عليها تحسينات أصلحت العيوب المعروفة فى المدفأة العادية . فهناك أنابيب تحمل الهواء من الحجرة ، من مكان قريب من أرضيتها إلى الفراغ الواقع بين الجدران ،




وهى جدران مزدوجة ، على جوانب المدفأة ومن خلفها . ومن هناك يدخل الهواء الحجرة مرة أخرى . وهذا الهواء الساخن يدفىء الحجرة كلما دار حولها .

ومنذ مائتى سنة ، صنعت مواقد للتدفئة ، تكون نارها فى داخل جدران من حديد . فهى محبوسة عن الحجرة ، وغازات احتراقها تخرج من مدخنة خاصة بها . والهواء اللازم للحريق يدخل إليها من فتحة فى أسفل الموقد . والموقد يسخن هواء الحجرة الذى هو حول جدرانه الحديدية ، فتسخن بذلك الحجرة بطريقة الحمل . وهذا الموقد — ويوضع غير ملصوق بحائط — يشع مقداراً كبيراً من الحرارة .

ولبعض الحديث من هذه المواقد عباءة تحيط بالموقد من الخارج ، وهى من حديد . ويدخل هواء الحجرة بين هذه العباءة وجدران الموقد فيسخن ، ثم هو يخرج إلى الحجرة من ثقوب فى أعلى العباءة فتدفأ الحجرة . ويتضح هذا الموقد فى الرسم الأيسر فى أعلى هذه الصفحة

والتدفئة بهذه المواقد لا تكلفنا كثيراً ، وكل ما يوجه إليها من نقد ، ينحصر فى أن كل حجرة أو مجموعة من الحجرات تتطلب موقداً مستقلاً . وفوق ذلك فإن هذه المواقد يتخلف عنها شىء من التراب والأقذار .

وأبسط أنواع أجهزة التدفئة بالهواء الساخن ، وهى الأفران التى لا تستخدم فيها أنابيب ، لا تختلف كثيراً عن المواقد السابقة إلا فى الحجم ، وفى أن لها عباءة إضافية من حولها . ويوضع فرن هذا الجهاز فى بدروم المنزل ، ويحمل الهواء الساخن من المنطقة الواقعة بين جدران الفرن والعباءة خلال أنبوبة قصيرة واسعة إلى شباك كبير من حديد يمر

عبره ويدور فى حجر المنزل . وعندما يبرد الهواء ينزل إلى الأرضية ثم يعود إلى الفرن عن طريق الشباك الحديدى . فالهواء الساخن يخرج من هذا الشباك من أوسطه ، أما الهواء البارد فيدخل إلى الفرن عند جوانبه. ومثل هذه الأفران تدفىء المنازل بواسطة تيارات الحمل . ولعل ما تعلمه عن تيارات الحمل، يساعدك فى إدراك السبب الذى من أجله يوضع هذا الفرن فى بدروم المنزل بدلا من وضعه فى الطابق الأعلى للبيت .

وهذا الفرن ، عديم الأنابيب ، لا يصلح إلا للمنازل الصغيرة ، ويبين لك الرسم التوضيحى الذى تراه على صفحة الغلاف الداخلية، جهازاً للتدفئة بالهواء الساخن يصلح للمنازل الكبيرة . لاحظ أن للهواء الساخن فى هذا الفرن شباكا يخرج منه؛ وللهواء البارد شباك يعود فيدخل إليه . ويوجد فى هذا الفرن فى بعض الأحيان أنبوبة تجلب هواء جديداً من الخارج . وهذا الطراز من أجهزة الهواء الساخن يدفىء المنزل بسرعة، كما أنه ليس غالى الثمن .

وفكرة التدفئة بجهاز الهواء الساخن ليست جديدة. فلقد كان لدى كثير من الرومانيين أفران للهواء الساخن. ولكن هذه الأفران كانت تختلف اختلافاً جوهرياً عن أجهزتنا الحالية . فكانوا يوقدون ناراً فى فرن مكشوف، فى حجرة صغيرة، مستواها أسفل من مستوى الحجرات الأخرى . فكان الهواء الساخن ينتقل من النار إلى الحجرات خلال أنابيب من الفخار . وكان ينتقل مع هذا الهواء الساخن الدخان والغازات التى تنبعث من النار ، ولذلك لم تكن هذه الطريقة أفضل من إشعال النار فى وسط الغرفة . غير أن المداخن لم تكن قد اخترعت فى أيام الرومان . وفى أفراننا الحديثة تغطى النيران، كما توجد أنابيب تحمل الدخان والسناج والغازات من النار إلى المداخن .

ويحدث غالباً أن تدفأ حجرات خاصة من المنزل ، عن طريق جهاز التدفئة بالهواء الساخن ، أفضل من حجرات أخرى . والحجرات التى تبعد كثيراً بعداً أفقياً عن الفرن، هى التى يصعب تدفئتها . وقد أدخلوا على أجهزة التدفئة الحديثة بالهواء الساخن اختراعاً جديداً يصحح التدفئة غير المتكافئة فى المنازل . فقد وضعت مروحة فى أجهزة التسخين هذه داخل عباءة الفرن . وتشتغل هذه المروحة بمحرك كهربائى ، فتساعد على دفع الهواء الساخن ورفعه خلال كل الأنابيب الخارجة من الفرن . وبهذا النموذج الجديد لأجهزة التدفئة بالهواء الساخن ، لاتكون تيارات الحمل هى السبب الوحيد فى تدفئة المنزل .

والرسم البيانى المنشور على داخل الغلاف، وكذلك الرسم الأيمن فى صفحة ٢٦ يوضحان لك نوعين من أجهزة التدفئة التى عم استخدامها بالماء الساخن والبخار. ويتطلب استخدام

هواء دافئ

هواء بارد

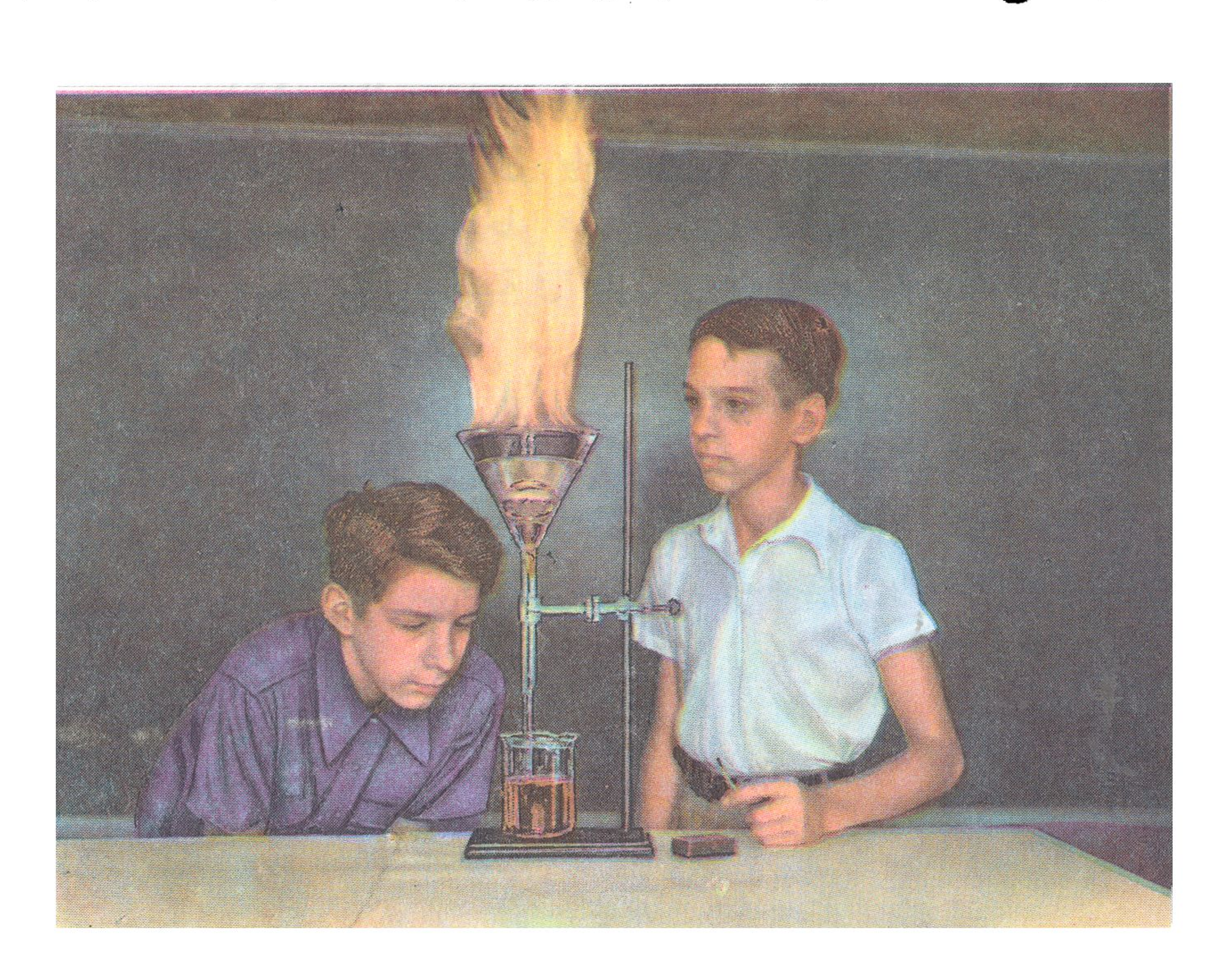
هذين النوعين ، وجود مدافئ في الحجرات ، وهي مدافئ لا نار فيها ، ولكنها أنابيب فيها الساخن من الماء أو البخار ، فتشع منها الحرارة إلى الحجرة فتدفئها ، وتسمى بالإنجليزية « رادياتور » وبالعربية مشعاع . وتوصل هذه المدافئ الإشعاعية أو المشعاعات بالأفران أنابيب وهذه المدافئ تدفئ الحجرات أصلا عن طريق تيارات الحمل . وقد سبق أن شرحنا في صفحة ٢٠ الطريقة التي تتكون بها تيارات الحمل من أمثال هذه المدافئ .

وفي جهاز التدفئة بالماء الساخن تسخن الحرارة المنبعثة من أفران النار الماء في الغلايات ، فتتكون تيارات الحمل . وينزل الماء البارد من المدافىء الإشعاعية أو المشعاعات إلى الغلاية ، ويدفع الماء الساخن في هذه الغلاية صاعداً إلى المشعاعات ، وبعد أن يصل الماء الساخن إلى المشعاعات ، يفقد بعض حرارته ، ثم يعود بدوره إلى الغلاية ، ويدفع ماءها الساخن إلى أعلى ، وهلم جرا . فهناك مجموعتان من تيارات الحمل في جهاز التدفئة بالماء الساخن ، فتيارات الحمل في الغلاية والأنابيب تنقل الحرارة إلى المشعاعات . أما تيارات الحمل في الحجرات ، فإنها تحمل الحرارة من المدافىء إلى أرجاء الحجر جميعها .

وقد أضيفت إلى أجهزة التسخين بالماء الساخن مضخات ؛ وذلك أسوة بالمراوح التي زودت بها أجهزة التسخين بالهواء الساخن .

وإنك تعلم أن الماء يتمدد حين يسخن ، ولذا فإن لكل جهاز من أجهزة التدفئة بالماء الساخن ، إما خزان مفتوح للتمدد يوضع فوق أسطح المنازل ، أو خزان مغلق في البدروم . والرسم البياني يريك خزاناً مقفلا .

وفي جهاز التسخين بالبخار ، يسخن الماء في غلاية الفرن إلى درجة الغليان ، فيتكون البخار . والماء حين يتحول إلى بخار تحت ضغط الجو العادى ، يتمدد لدرجة أنه يشغل حيزاً من الفراغ يساوى نحو ١٦٠٠ مرة من حيزه وهو ماء . أما البخار في غلاية جهاز



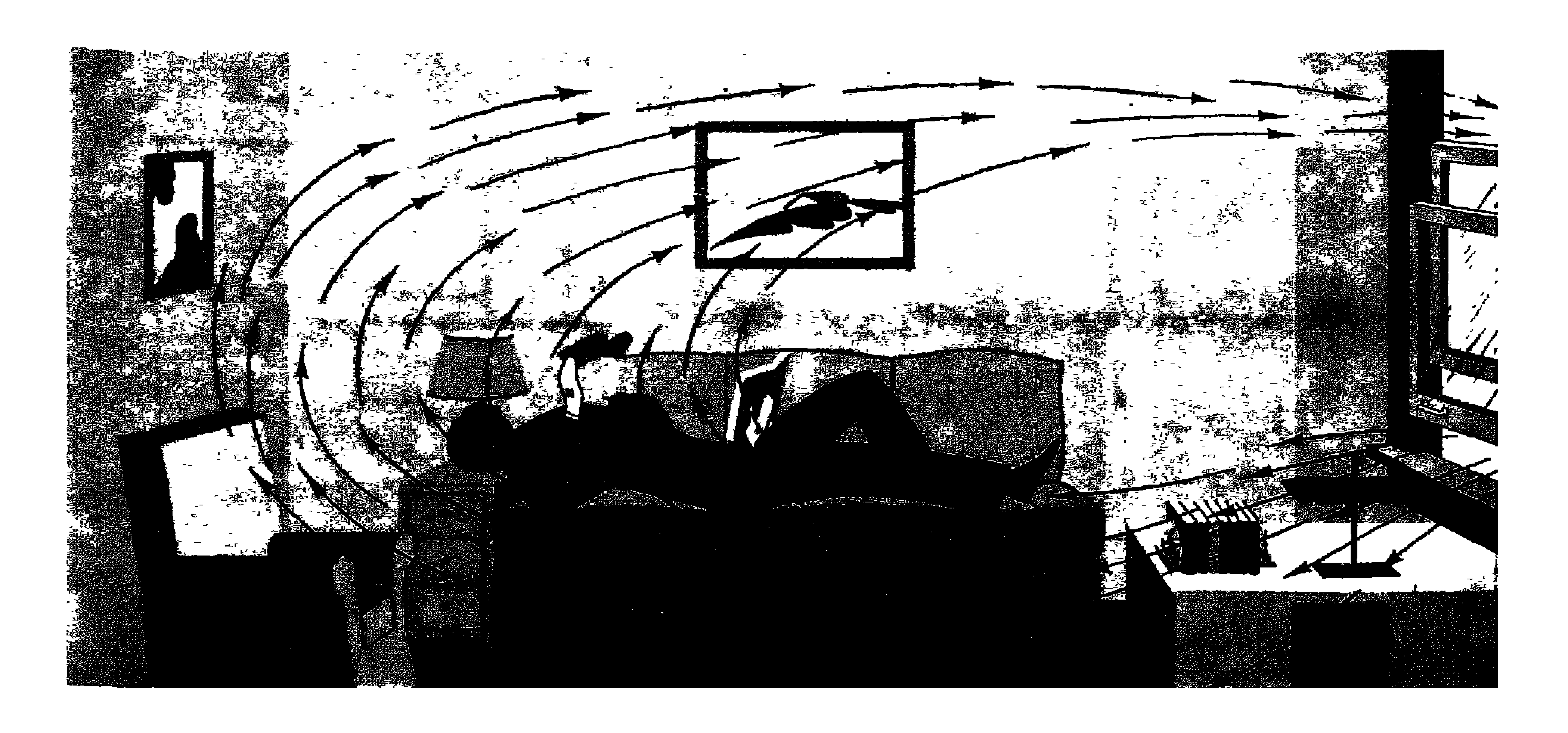


ذلك لأن الحرارة لا تتسرب منه بنفس الكمية التى تتسرب بها من البخار . وحين يعتدل الجو ، لا يحتاج الماء لتسخين كثير كالأيام الباردة ، ومن ثم تعطى المدافىء للحجر مقداراً أقل من الحرارة . وعند ما يعمل جهاز التسخين بالبخار ، فإن درجة حرارة مدفأة البخار تعادل دائماً درجة حرارة البخار نفسه أو تقاربها ؛ أى تكون درجة حرارتها ١٠٠ْس فهرنهيت . ولا تستطيع أن تبردها إلا إذا أوقفت المدفأة عن العمل بالمرة . وهنا تصبح الحجرة باردة.

ومهما يكن من شىء ، فإن جهاز تسخين البخار له ميزة واحدة ، هى أنه يفضل جهازى التدفئة بالهواء الساخن أو الماء الساخن فى المبانى الضخمة . فالماء الساخن ، كالهواء الساخن ، ينتقل خلال الأنابيب على الأكثر عن طريق الحمل. وهذا الحمل يسبب تيارات صاعدة وأخرى هابطة . وفى المبانى التى يتحتم فيها أن تقطع الأنابيب مسافات طويلة فى كل طابق منها ، نرى أن الماء الساخن والهواء الساخن يبردان بدرجة واضحة أثناء انتقالها عبر هذه المسافات الطويلة ؛ بل ربما لا يصلان إلى الحجرات البعيدة. أما البخار ، فإنه يستطيع أن ينتقل إلى مسافات طويلة وفى جميع الاتجاهات بسبب الضغط الشديد الذى يخرج به من الغلاية .

ويجمع جهاز التسخين بالبخار ذى الضغط المخفف مزايا جهازى التدفئة بالماء الساخن والبخار . فإنك تذكر أن درجة غليان الماء تتوقف على الضغط الواقع على سطحه ، وفى جهاز ضغط البخار المخفف ، يحتفظ بفراغ جزئى فى الأنابيب والغلايات ، ومن ثم يتحول الماء إلى بخار ماء فى درجة حرارة أقل من درجة ١٠٠ْس فهرنهيت . وهذا البخار يدور مع الأنابيب بضغطه الذاتى ، ولكن درجة حرارته يمكن أن يحتفظ بها معتدلة .

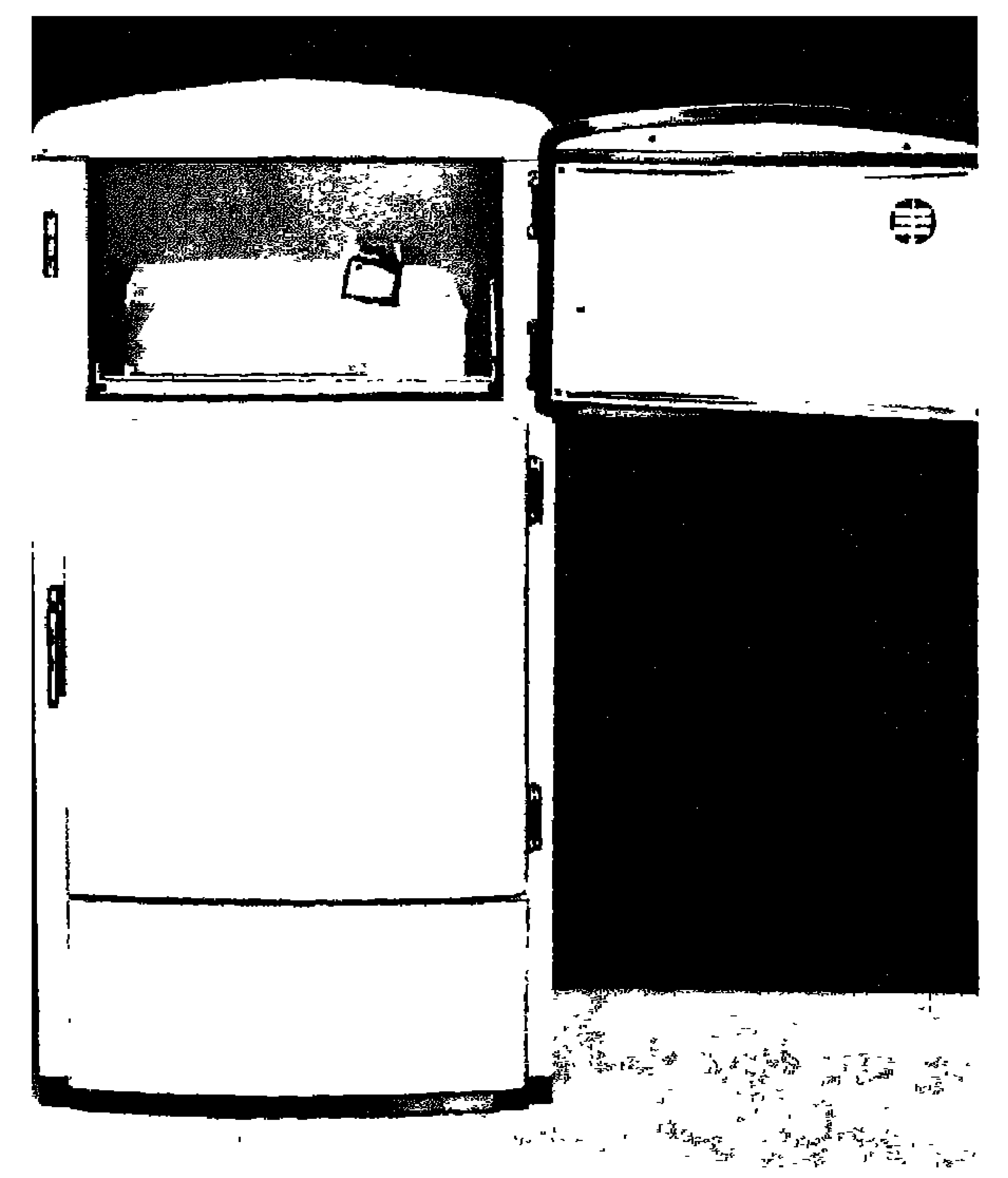
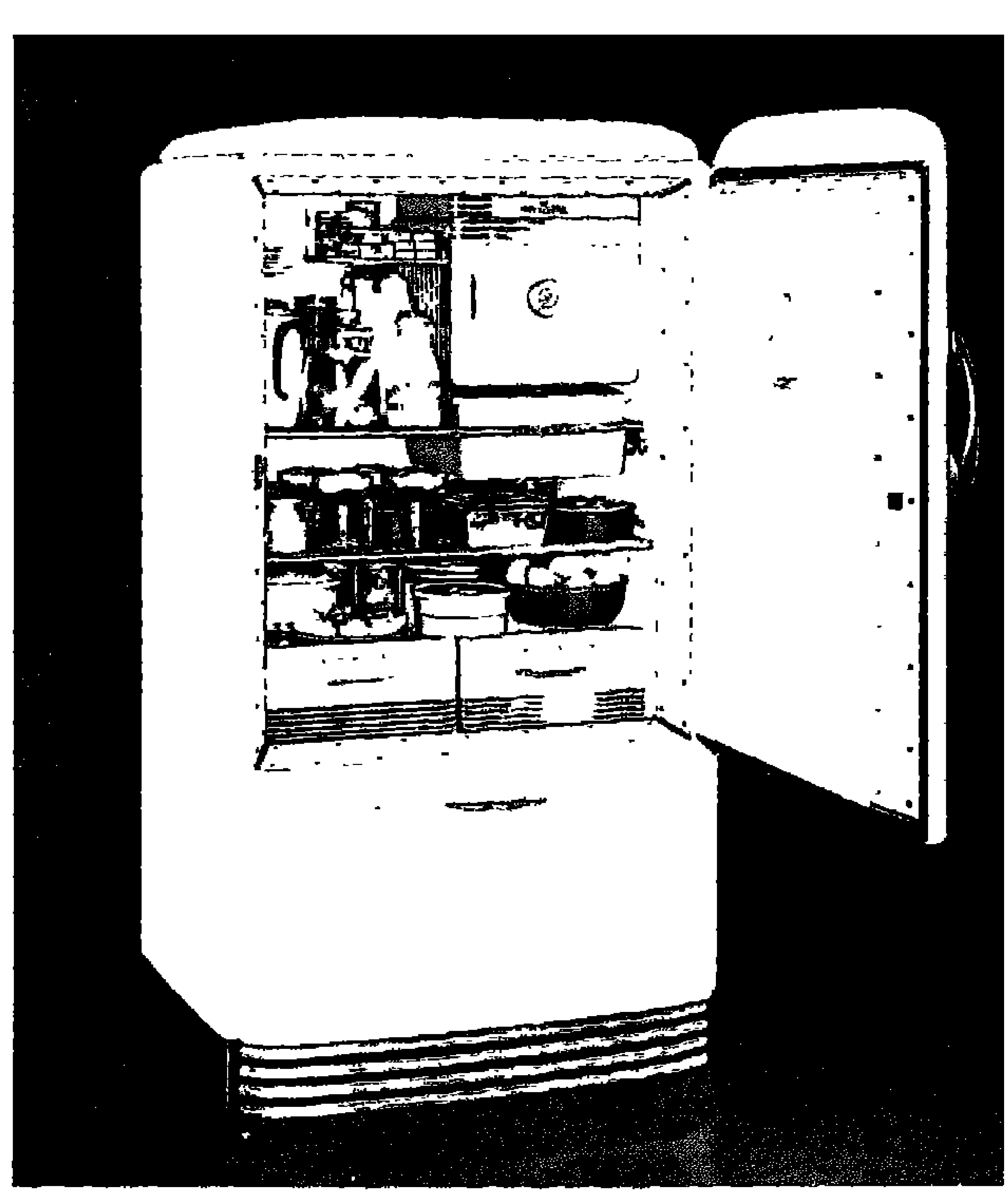
وإذا قدر لك أن تختار جهازاً للتدفئة تستخدمه فى بيتك ، كان عليك أن تضع نصب عينيك مسائل لم تأخذها فى الاعتبار . فالدفايات الإشعاعية تشغل حيزاً من الفراغ أكبر من الحيز الذى يشغله الشباك فى جهاز التدفئة بالهواء الساخن . وأجهزة البخار والماء الساخن وضغط البخار المخفف أكثر كلفة من أجهزة الهواء الساخن . وأجهزة الهواء الساخن غالباً ما تتكلف إدارتها وتشغيلها مبالغ كبيرة ، نظراً لما تستهلكه من وقود كثير . وأجهزة الهواء الساخن هذه تغير هواء الحجرات ، الأمر الذى لا تقوم به الأجهزة الأخرى ، فهى تسخن هواء الحجرات ولا تغيره . أضف إلى ذلك أنه من السهل عليك أن تضيف مقداراً من الرطوبة إلى الهواء إذا وضعت آنية مملوءة بالماء داخل عباءات الأفران . أما فى أجهزة التدفئة الأخرى ، فإنه يصعب عليك أن تحول دون جفاف الهواء إلى درجة مؤذية . كذلك نلاحظ أن هناك خطراً يتلخص فى تجمد الماء فى أنابيب أفران



الماء الساخن فى ليالى الشتاء الباردة حين يبرد الجو . والمدافئ الإشعاعية التى يجرى فيها البخار ، كثيراً ما تحدث أصواتاً صاخبة .

وقد يفكر البعض فى ذكر شىء عن التدفئة بالبترول أو الغاز ، كوسائل أخرى من وسائل التدفئة ، ولكن هذه ليست إلا أسماء للوقود المستخدم فى أى جهاز ؛ فالفرن الذى يشتعل بالبترول قد يسخن الماء أو الهواء ، وقد يحول الماء إلى بخار . وهذا الفرن ، على هذا الاعتبار ، يكون جزءاً من أجزاء جهاز التدفئة بالهواء الساخن أو الماء الساخن أو بالبخار أو ضغط البخار المخفف . ويفوق البترول والغاز الفحم الحجرى الطرى فى درجة نظافته . وفوق ذلك فإنه من السهل أن تغذى اللهب بالبترول أو الغاز بكميات قليلة ، ولذا فإن أفران البترول وأفران الغاز يمكن أن تتحكم فى درجة الحرارة التى تنبعث منها عن طريق الترموستات . وقد سبق أن شرحنا الترموستات نفسه . ويمكن أن يستخدم فى جعل درجة حرارة الحجرات واحدة ثابتة . فعندما ترتفع درجة حرارة الهواء إلى درجة أعلى من الدرجة المطلوبة ، ينتج عن ذلك اتصال كهربائى تحدثه القطع المعدنية الملتوية فى الترموستات ، ومن ثم يقفل هذا التيار الكهربائى صماماً فى أنبوبة التغذية التى تغذى الفرن بالوقود .

وعندما تنخفض درجة الحرارة إلى أقل من درجة الحرارة المطلوبة ، فإن قطعة المعدن تستقيم فتحدث اتصالا كهربائياً من نوع آخر ، ومن ثم يفتح الصمام مرة ثانية . كذلك يمكن التحكم بسهولة فى الأفران التى تدار بنار الفحم ، إذا هى زودت بوقادات أتوماتيكية ، وهى أجهزة تمد الأفران بالفحم تدريجياً . وهذه الأجهزة غالية الثمن ، ويتكلف إنشاؤها مبالغ ضخمة . ولكنها تعوض كل تلك التكاليف بما توفره فى استهلاكها للوقود ، وبما تمد به منازلنا من درجات حرارة تتوافر فيها الشروط الصحية .

## « التبريد »

قد يبدو عجيباً لأول وهلة أن ندرس أجهزة التبريد فى كتاب عن الحرارة وكيف تنتقل . ولكن تذكر أن البرودة إن هى إلا غياب الحرارة . وتبريد الشيء معناه تسرب الحرارة منه .

ووسائل التبريد جميعاً أساسها حقيقة معينة ، هى أن الحرارة تمتص حين ينصهر جسم صلب ، أو حين يتبخر سائل أو جسم صلب . وليس من الضرورى أن تنبعث هذه الحرارة من نار ، فقد تأتى هذه الحرارة من جسم ساخن قريب .

وفى جهاز التبريد بالثلج ، يبرّد الثلج محتويات الثلاجة بالأنصهار . والثلج بارد بطبيعة الحال ، ويمكن أن تنتقل إليه الحرارة بالتوصيل . ومن ثم تبرد محتويات الثلاجة إلى درجة ما ، حتى ولو لم ينصهر . ولكن الجزء الأكبر من عملية التبريد هنا أساسه الأنصهار . ويحفظ الثلج فى الجزء العلوى من الثلاجة . وحين ينصهر ، يبرد الهواء الذى حوله فيثقل وزن هذا الهواء فيهبط . ثم يدفع الهواء الذى سخن قليلا بملامسته للطعام الموجود فى الثلاجة . وهذا الهواء بدوره يبرد ثم يهبط ، فيتكون تيار حمل يستمر فى حمل الحرارة من المواد الموجودة فى الثلاجة إلى الثلج . وجدران الثلاجة كما تعلم مصنوعة بطريقة تمنع تسرّب الحرارة الخارجية إلى الثلاجة . ولولا ذلك لاستطاع الجزء الأكبر من الحرارة الذى يمتصه الثلج المنصهر

أن يدخل إلى الثلاجة من الهواء الخارجى ، وبذلك لا تبرد محتويات الثلاجة بدرجة كبيرة .

وفى الثلاجات الميكانيكية ، كالكهربائية مثلا ، يبرّد سائل محتوياتها عن طريق البخر. وتثبت الفتاة المنشورة صورتها فى الجزء الأسفل من صفحة ٢٣ ، أن البخر إن هو إلا عملية تبريد . فبصيلة الترمومتر الذى تمسك به ملفوفة فى القطن، وقد غمست هذه البصيلة فى ماء درجة حرارته مساوية لدرجة حرارة الهواء . فعندما تروّح الفتاة على الترمومتر ، يتبخر الماء الذى فى القطن بسرعة، وهنا يسجل الترمومتر درجة حرارة أقل من درجة حرارة الهواء .

وتستخدم فى الثلاجات الكهربائية مادة تكوّن غازاً فى درجات الحرارة العادية . وهذه المادة تتحول إلى سائل تحت ضغط عال ، ثم يسمح لهذا السائل أن يتبخر . وحين يتبخر هذا السائل، يمتص مقداراً كبيراً من الحرارة، فيبرّد ما حوله من أشياء إلى درجة حرارة منخفضة . ثم إن هذا الغاز يتكثف ثم يتبخر المرة بعد المرة . والغاز الذى يستخدم غالباً فى الثلاجات الكهربائية بالمنازل هو ثانى أكسيد الكبريت .

وهناك ثلاثة أجزاء فى جهاز التبريد الذى فى الثلاجات الكهربائية . أولها مضخة كابسة يديرها محرك كهربائى . إنها تضغط الغاز حتى يتحول إلى سائل ، وضغط الغاز ينتج عنه مقدار كبير من الحرارة . وبالإضافة إلى ذلك تنبعث حرارة من الغاز حين يتحول إلى سائل؛ تماماً كما يفعل البخار حين يتحول إلى ماء .أما الجزء الثانى فهو ملف مكثف تسرى الحرارة التى تنبعث منه عن طريق ضغط الغاز وتكثيفه إلى الحجرة . والمضخة الكابسة والملف المكثف يوضعان فى أعلى الثلاجة الكهربائية أو فى أسفلها . أما الجزء الثالث فى الجهاز، فيحتوى على ملفات مبرّدة داخل الثلاجة الكهربائية . وفى هذه الملفات ينشط البخر . وغالباً ما يتكوّن عليها الجليد إذ تحمل تيارات الحمل الحرارة من محتويات الثلاجة الكهربائية إلى هذه الملفات .

وتستخدم أجهزة للتبريد، كالتى بهذه الثلاجات الميكانيكية، فى بيوت التعبئة ومخازن التبريد التجارية؛ كما تستخدم أيضاً فى الحصول على درجة حرارة التجمد التى تتطلبها لتجميد الفواكه واللحوم والخضراوات التى تباع الآن فى الأسواق. وتستخدم كذلك فى صناعة الثلج .

وفى صناعة الجليد، تحاط خزانات الماء النقى بمحلول من الماء والملح . ومحلول الملح الذى يحتوى على مقدار كبير من الملح، يمكن أن يبرد إلى أقل من درجة الصفر المئوى دون أن يتجمد . وتوضع ملفات التبريد فى محلول الملح . فعند ما يتبخر السائل الذى تزوّد به



هذه الملفات، وغالباً ما يكون هذا السائل هو محلول النوشادر، يبرد محلول الملح ثم يبرّد هذا المحلول بدوره الماء فى الخزانات، ومن ثم يجمد الماء. والأشخاص الذين ترى صورتهم فى صفحة ٣٥ يتزلقون على جليد صناعى، وقد تجمد هذا الثلج فى مكانه بواسطة الملفات المبردة تحته مباشرة.

ويستخدم الآن الثلج الجاف فى التبريد. والثلج الجاف هو عبارة عن ثانى أكسيد الكربون المتجمد. وحين يسخن ثانى أكسيد الكربون المتجمد، فإنه لا يتحول أولا إلى سائل ثم إلى غاز، بل يتحول مباشرة إلى غاز. وقد أطلق عليه هذا الاسم (الثلج الجاف) لأنه لا يبتل أبداً. وهو عند ما يتحول من صلب إلى غاز، يمتص مقداراً من الحرارة كبيرا، ومن ثم كان له تأثير كبير فى التبريد لكل ما حوله.

## « تكييف الهواء »

تكييف الهواء موجود فى كثير من البيوت، وفيها تنظّم درجة الحرارة على مدار السنة. فالبيت لا يدفأ فى الشتاء فحسب، بل إنه يبرد صيفاً. وهناك وسائل متعددة لتبريد الهواء فى بيت يستخدم جهاز تكييف الهواء. فى بعض الحالات يستخدم الثلج، وفى حالات أخرى تستخدم أجهزة تبريد تشبه إلى حد كبير الثلاجات الميكانيكية (كالكهربائية). ثم تأتى المراوح فتحرك الهواء فى عنف فوق الثلج أو الملفات المبرّدة، ومن ثم تدفع به إلى داخل البيوت. ويتضمن تكييف الهواء أيضاً المحافظة على الكمية الصحيحة اللازمة من بخار الماء فى الهواء. ففى الصيف يحمل الهواء غالباً كمية من بخار الماء فوق ما تطيق وتتحمل. أما فى الشتاء فإن الهواء فى منازلنا يكون فى معظم الأحيان جافًّا جدًّا. فتكييف

الهواء —إذن— معناه أن تسحب كمية من رطوبة الهواء أو أن تضيف إليه كمية أخرى . وإذا احتوى الهواء كمية كبيرة من بخار الماء، أمكن تبريده حتى يتكثف جزء من بخار الماء وإذا احتاج الأمر بعد ذلك، أمكن أن يسخن الهواء إلى درجة الحرارة المطلوبة. ويمكن استخدام السوائل والأجسام المسامية التي تمتص الماء في إبعاد بخار الماء عن الهواء . وإذا احتوى الهواء كمية ضئيلة من بخار الماء أمكن إمراره دفعاً في رشاش ماء ، أو قد يمرر فيه البخار بشدة .

ويتضمن تكييف الهواء كذلك، إزالة الأتربة من الهواء . وعملية رش الهواء بالماء ( أو غسله ) تزيل التراب ؛ ودفع الهواء بشدة عبر مرشح ، طريقة أخرى لإزالة التراب .

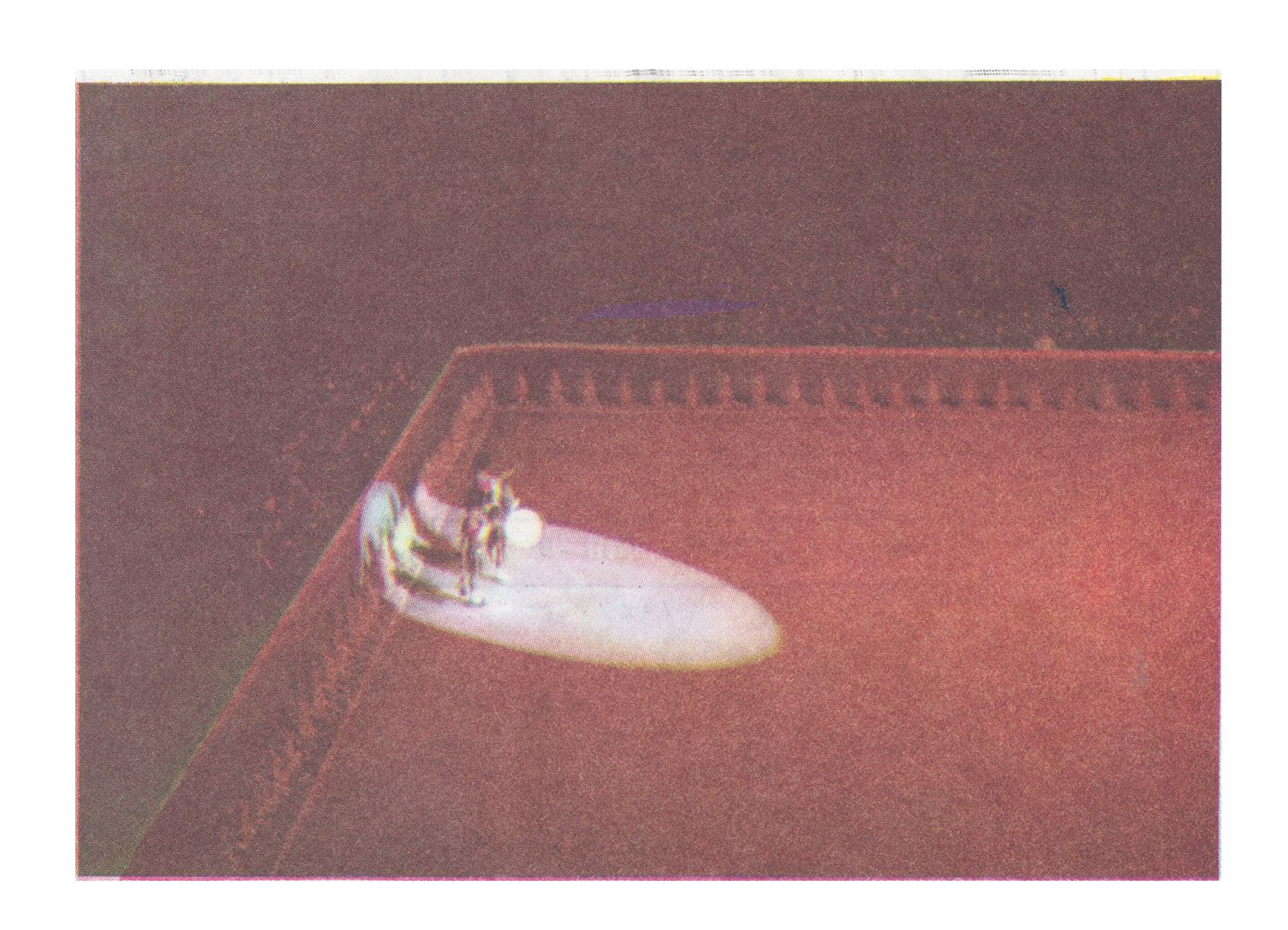
وإزالة التراب من الجو تفيد المرضى بحمى القش[1] ، فمع كل الأتربة التي تذهب ، تزول حبوب اللقاح التي تسبب هذه الحمى .

ولا يستطيع تكييف الهواء أن ينجح تماماً — وخصوصاً في الصيف — إلا إذا كانت المنازل مبنية بإحكام ، ولا تسمح للهواء أن يتسرب منها أو إليها من شقوق أو فتحات صغيرة . ويحمل جهاز التبريد حملا ثقيلا في أيام الحر إذا دخل الهواء الساخن المنازل بكميات كبيرة . أما جدران المنازل فينبغي — فوق ذلك — أن تبنى بطريقة لا تسمح معها للحرارة أن تنتقل خلالها بسهولة . والنوافذ المزدوجة تفيد فائدة كبيرة في هذه الحالة .

وتكييف الهواء يتطلب أن تبنى المنازل محكمة . وهذه الحقيقة تحول دون استخدام تكييف الهواء في معظم بيوتنا في الوقت الحاضر ؛ بيد أننا بعد وقت قصير ، قد لا نجد بيتاً يشاد إلا وهو مزود بجهاز من أجهزة تكييف الهواء، تماماً كما تفعل اليوم حين لا تفكر في بناء بيت في مدينة دون أن تمده بمواسير المياه وأسلاك الكهرباء .

---

(١) حمى القش هي المرض المشهور بـ « الربو »



ويمكن أن يكيّف هواء المبانى الأخرى أسوة بالمنازل ، فالبناء المنشورة صورته فى صفحة ٢٩ ، مزود بتكييف الهواء . أما المسارح والمطاعم التى يستخدم فيها تكييف الهواء فمنتشرة هنا وهناك ، بل هناك أيضاً تكييف هواء فى كثير من عربات سكك الحديد. ولقد قيل إنه فى استطاعتنا أن نغير الطقس داخل جدران المبانى فى جو الشتاء إلى جو الصيف . ونحن الآن نستطيع فوق ذلك أن نغير الصيف إلى ربيع .

## « جرب بنفسك »

١ – قم بإجراء أكبر عدد ممكن من التجارب المنشورة صورها على صفحات ٧، ٩، ١٩، ٢٣، ٢٨، ٣٤

٢ – ضع خطة لتجربة، توضح بها أن الصوف لا يسخّن الأجسام، ولكن يحفظ عليها حرارتها

٣ – احضر أنبوبتى اختبار بحجم واحد تماماً . غلّف إحداهما بالسناج وذلك بتعريضها للهب شمعة . وحالما تبرد هذه الأنبوبة ، املأ الأنبوبتين بالماء البارد . وينبغى أن تكون درجة حرارة الماء فيهما واحدة . ثم عرّض الأنبوبتين لضوء الشمس الشديد . قس درجة حرارة الماء فى كل أنبوبة بعد مضى ساعتين ، وإذا ارتبكت نتيجة للاختلاف فى درجة الحرارة ، أعد قراءة صفحتى ٢٢، ٢٥ .

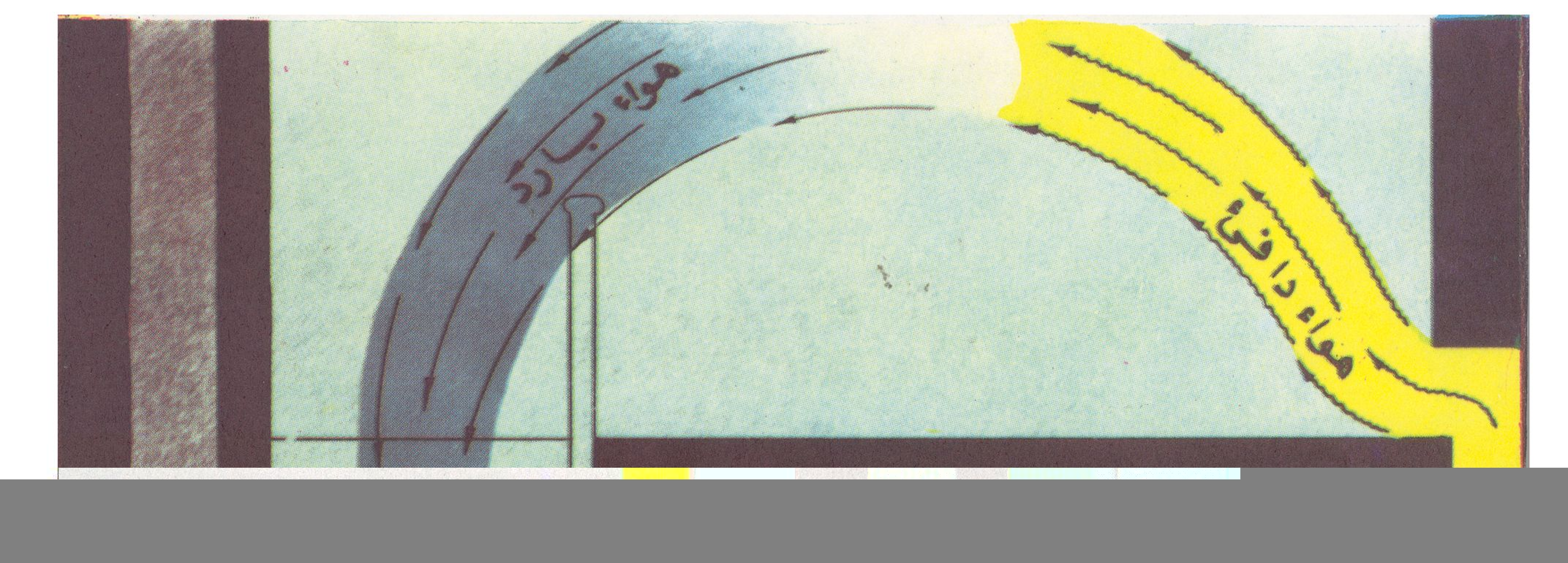
٤ – أوجد مقدار الانخفاض الذى يمكنك الحصول عليه إذا سمحت للكحول أن يتبخر من مستودع الترمومتر .

٥ – ثبت قطعاً من الرخام فوق قضيب من نحاس على بعد بوصتين بين كل قطعتين ، واستخدم البرافين أو شمع الختم فى هذا التثبيت . امسك بطرف من أطراف قضيب النحاس وضعه فى اللهب . لاحظ أن قطع الرخام سوف تتساقط الواحدة تلو الأخرى حين تنتقل حرارة اللهب على طول قضيب النحاس .



| رقم الإيداع | | ١٩٩٣/٣١٢٢ |
| --- | --- | --- |
| الترقيم الدولى | 977 - 02 - 4010 - 9 | ISBN |

١/٩٢/٣٠٣
طبع بمطابع دار المعارف (ج.م.ع.)


هواء بارد
هواء دافئ

